পদার্থ-বিদ্যা

প্রথম খণ্ড

For the Pre-University classes of Calcutta University and the
University Entrance classes of Burdwan University]

শ্রীধর্মহরি গুহ, এম. এস্-সি.

বিবেকানন্দ কলেজের পদার্থবিদ্যার প্রধান অধ্যাপক, ঝাড়গ্রাম কৃষি মহাবিদ্যালয়,
সিউড়ী বিদ্যাসাগর কলেজ ও কলিকাতা জয়পুরিয়া কলেজের ভূতপূর্ব
অধ্যাপক ও কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের পরীক্ষক।

শ্রীরত্নেশ্বর সেনগুপ্ত, এম. এস্-সি.

বিবেকানন্দ কলেজের পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, সিটি কলেজের ভূতপূর্ব অধ্যাপক
ও কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের পরীক্ষক।

শ্রীসুনীলচন্দ্র মুখোপাধ্যায়, এম. এস্-সি., বি. টি

বিবেকানন্দ কলেজের পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, ঢাকা জগন্নাথ ইণ্টারমিডিয়েট
কলেজের ভূতপূর্ব অধ্যাপক ও কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের পরীক্ষক।

ভূমিকা

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃক রচিত প্রাক্-বিশ্ববিদ্যালয় শ্রেণীর জন্য পাঠক্রম অনুযায়ী 'পদার্থ-বিদ্যা' লিখিত হইয়াছে। পুস্তক রচনায় আমরা সিলেবাসের ক্রম সাধারণভাবে রক্ষা করিবার চেষ্টা করিয়াছি। তবে দুই একটি ক্ষেত্রে সঙ্গতি ও ধারাবাহিকতা বজায় রাখিবার জন্য সামান্য অদলবদল করিতে হইয়াছে। বিষয়বস্তুর সমগ্রতা রক্ষার জন্য ও সহজবোধ্য করিবার জন্য সিলেবাসে অনুল্লিখিত কোনও কোনও বিষয়ের অবতারণাও করিতে হইয়াছে। সুবিধার জন্য সমগ্র সিলেবাসটি পুস্তকের প্রারম্ভে সন্নিবিষ্ট করা হইয়াছে।

পুস্তকখানি দুইখণ্ডে সম্পূর্ণ। প্রথম খণ্ডে আছে—**সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা, তাপ ও আলো** এবং দ্বিতীয় খণ্ডে আছে—**শব্দ, চৌম্বক তত্ত্ব, স্থির বিদ্যুৎ** এবং **প্রবাহী বিদ্যুৎ**। প্রাক্-বিশ্ববিদ্যালয় কোর্স অথবা বিশ্ববিদ্যালয় এণ্ট্রান্স কোর্সের জন্য যে সময় নির্দিষ্ট আছে তাহার পক্ষে এই দুই খণ্ডের মিলিত কলেবর অত্যন্ত অধিক বলিয়া মনে হইতে পারে। কিন্তু এই বিষয়ে গত্যন্তর আছে বলিয়া মনে করি না। তবে ভরসার কথা এই যে ছাত্রগণ এখন প্রধানতঃ বাঙলাভাষার মাধ্যমেই বিজ্ঞান শিক্ষালাভ করিবে এবং ইহার ফলে ইংরাজী ভাষায় শিক্ষালাভ করিতে যে সময় লাগিত তাহা অপেক্ষা অনেক কম সময় লাগিবে। জ্ঞানলাভের পথে ইংরাজী ভাষার দুরূহতারূপ বাধা অপসারিত হওয়ায় বিষয়বস্তু সম্বন্ধে জ্ঞানলাভ সহজতর হইবে। এই পুস্তকে আমরা প্রচলিত পরিভাষা ব্যবহার করিয়াছি এবং বিষয়বস্তুর গুরুত্ব খর্ব না করিয়া পুস্তকটিকে যথাসাধ্য সহজবোধ্য করিতে চেষ্টা করিয়াছি। কতদূর সফল হইয়াছি তাহা এই পুস্তক যাঁহারা ব্যবহার করিবেন তাঁহারাই বলিতে পারিবেন।

আমরা আমাদের সাধ্যমত পুস্তকটিকে নির্ভুল এবং ছাত্র-ছাত্রীদের উপযোগী করিতে প্রয়াস পাইয়াছি। খুব অল্প সময়ে বইটি শেষ করিতে হইয়াছে তজ্জন্য অনবধানতাবশতঃ ত্রুটি বা অসম্পূর্ণতা থাকা অসম্ভব নয়। যাঁহারা এই পুস্তক ব্যবহার করিবেন তাঁহারা যদি অনুগ্রহপূর্বক এই পুস্তকের উৎকর্ষ সাধনের জন্য পরামর্শ দান করেন তাহা হইলে কৃতজ্ঞ থাকিব।

পরিশেষে স্টুডেণ্ট্স্ বুক কোম্পাই-এর স্বত্বাধিকারী শ্রীগোসাইচরণ দাস মহাশয়কে আমাদের আন্তরিক ধন্যবাদ জানাই। তাঁহার অক্লান্ত চেষ্টা ও পরিশ্রম ব্যতীত এত অল্প সময়ের মধ্যে বর্তমান সুষ্ঠু আকারে পুস্তকখানি বাহির হইবার সম্ভাবনা ছিল না।

ইতি—

কলিকাতা
জুলাই, ১৯৬০।

গ্রন্থকারত্রয়

Experimental and Mathematical Physics

SYLLABUS—PRE-UNIVERSITY COURSE

PHYSICS

Theoretical—100 Marks

General Physics :

Length, mass and time ; c. g. s. and f. p. s. units ; decimal measure and its usefulness ; measurement of length, volume, mass, weight, time and angle ; beam balance and spring balance.

General ideas on motion, velocity, acceleration and momentum ; equations of uniformly accelerated motion (algebraic and graphical methods) ; Newton's laws ; inertia ; Force ; Weight, action and reaction ; Effects of force (movement and acceleration) ; absolute and gravitational units of force ; measurement of force by spring balance ; work, energy and power, and their units.

Simple pendulum (experimental study only).

Elasticity ; Hooke's law ; linear and volume stresses ; elastic limit.

General idea of friction and reduction of frictional force by lubrication.

Fluid pressure ; pressure and thrust ; pressure in liquids ; Characteristics of liquid pressure ; Transmission of fluid pressure ; Pascal's law ; Hydraulic Press ; Hydraulic garage lift —Archimedes' principle and buoyancy ; Floatation of ships and balloons : hydrometers ; submerged. floating and sinking bodies.

Density and specific gravity ; measurements of density and specific gravity of solids (regular and irregular [illegible] and liquids ; Density of gas.

Atmospheric pressure ; Barometer and its use ; Pressure in gases ; Effect of moisture on atmospheric pressure , Weather maps.

Pumps , Siphon.

Heat ·

Effects of heat , Temperature and its measurement Fahrenheit and Centigrade scales and their conversion Thermometers (ordinary, maximum and minimum and clinical)

Expansion of solids, liquids and gases , Forces of expansion or contraction

Measurement of heat , Units of heat specific heat thermal capacity and water equivalent , Heat lost heat gained Method of mixtures (Experiment and calculation)

Melting, evaporation and boiling, Effect of pressure Cooling effect of evaporation , Latent heat Determination of melting point of crystalline solid (graphical method) freezing point of salt water

Moisture in air, Dew point , Relative humidity Dew mist cloud and rain , Determination of relative humidity (wet and dry bulb, hygrometer and Regnault's hygrometer)

Conduction, convection and radiation , Ingenhausz's experiment , Davy's safety lamp Copper spiral and candle flame experiment , Effects of cotton and woollen clothing Ventilation , Land and sea breezes , Cooling system of an automobile engine , Thermosflask

Heat as a form of energy , Conservation of energy Mechanical equivalent of heat Joule's experiment , Conversion of heat into work in engines (outline only)

Sound

[illegible] on and propagation of sound , Sound due to vibration , [illegible] rial medium necessary , Ideas on wave propagation

Action of tuning fork—Velocity of sound in air, solids and liquids ; Reflection of sound and echo ; Echo depth-sounding.

Musical sounds—Loudness, pitch and quality ; Intensity, frequency, harmonies and overtones ; Idea of resonance, Vibration of stretched strings and air columns (sonometer and organ pipes) ; Velocity of sound by resonance column.

Light :

Rectilinear propagation ; Pinhole camera ; Shadows ; Umbra and Penumbra ; Shadows by point and extended sources ; Eclipses of sun and moon.

Value of speed of light (mention only).

Reflection at a plane surface ; Laws of reflection and their verification ; Image distance equal to object distance ; Lateral inversion ; Inclined mirrors ; Periscope ; Keleidoscope ; Effect of rotating a mirror ; Effect of motion of object or mirror on image ; Size of mirror for full image of a person.

Refraction at a plane surface, Snell's law and its verification ; Total refraction ; Critical angle, Examples of total reflection ; Dispersion of light by prism ; Composite nature of white light, Reference to the colours of the rainbow; Production of spectrum by prism ; Experiments on recombination of colours by inverted prisms (Hartle's disc method), and Newton's colour disc.

Lens (graphical treatment only) ; Focal length ; Real and virtual images ; Magnification ; Determination of focal length of covergent lenses.

Magnetism :

Simple phenomena of magnetism ; Magnetic poles ; Action of like and unlike poles, Magnetic materials ; Magnetic induction ; Magnetic field ; Earth's magnetic field ; Floating magnet, and suspended magnet Experiments ; Idea of magnetic [illegible] of force ; Mapping magnetic fields and determination [illegible]al

points ; Localisation of poles of a magnet ; Magnetic shielding ; Destruction of magnetism.

Molecular theory of magnetism, Making magnets ; Electro-magnets.

Terrestrial magnetism, Earth's magnetic poles ; Magnetic dip ; Navigator's compass.

Electrostatics :

Two kinds of static charges—Conductors and insulators ; Pith-ball experiments ; Gold leaf electroscope ; Charging by contact and by induction ; Testing charges by Gold-leaf electroscope ; Charges concentrate at points ; Lightning conductor.

The electron as unit negative charge.

Current Electricity :

Electric current ; Experiments on heating, chemical and magnetic effects.

Sources of supply—Voltaic cells (simple cell, Leclanche cell, dry cell) ; Polarisation and local action ; Internal resistance.

Conditions of current flow ; Potential difference ; E. M. F., Property of resistance ; Ohm's law ; Coulomb ; Ampere ; Volt ; Ohm.

Control of current flow ; Switches and resistances ; Idea of household wire ; Use of fuses.

Heating effect of current (qualitative study by Joule's method —temperature *vs.* current graph).

Action of current on magnet and magnet on current ; Fields due to current in a straight wire, circular coil and solenoid ; Tangent galvanometer ; Barlow's wheel, Roget's vibrating spiral, Simple motor.

Electromagnetic induction ; Experiments showing the effect F[illegible]'c law ; Simple dynamo.

সূচীপত্র

সাধারণ পদার্থবিদ্যা (General Physics)

সপ্তম অধ্যায় : ঘর্ষণ

অষ্টম অধ্যায় : স্থিতিস্থাপকতা

নবম অধ্যায় : পদার্থের ঘনত্ব ও ঘনত্ব মাপন

দশম অধ্যায় : উদস্থিতি-বিজ্ঞান

একাদশ অধ্যায় : বায়ুমণ্ডল ও গ্যাসীয় পদার্থের কথা

তাপ (Heat)

প্রথম অধ্যায় : তাপ ও তাপের কার্য, উষ্ণতা এবং উষ্ণতা মাপন

উষ্ণতা ও উষ্ণতা মাপন

দ্বিতীয় অধ্যায় : তাপে পদার্থের প্রসারণ

তৃতীয় অধ্যায় : তরল পদার্থের প্রসারণ

চতুর্থ অধ্যায় : গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ

পঞ্চম অধ্যায় : ক্যালরিমিতি—তাপের পরিমাপন

আলো (Light)

প্রথম অধ্যায়ঃ আলোর ঋজুগতি

দ্বিতীয় অধ্যায়ঃ আলোর প্রতিফলন

তৃতীয় অধ্যায়ঃ আলোর প্রতিসরণ (Refraction of light)

চতুর্থ অধ্যায় : লেন্স ও লেন্সের কার্য

পঞ্চম অধ্যায় : বর্ণ, বর্ণালী ও আলোর বিচ্ছুরণ

সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা

(GENERAL PHYSICS)

(Pre-University Course)

পদার্থ-বিদ্যা

প্রথম খণ্ড

১। সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা

২। তাপ

৩। আলো

পদার্থ-বিদ্যা

প্রথম অধ্যায়

মাপ (Measurement)

1. মাপের একক (Units of measurement)

বিজ্ঞান শিক্ষার জন্য প্রতি পদে পদে প্রয়োজন পর্যবেক্ষণ ও পরীক্ষা ; পদার্থ-বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে পর্যবেক্ষণ ও পরীক্ষা বলিতে প্রধানতঃ নানারকমের মাপ বুঝায়। পদার্থ-বিজ্ঞানের ছাত্রকে দৈর্ঘ্য, আয়তন, সময়, ওজন, গতি, ঘনত্ব, শক্তি, উষ্ণতা এবং আরও বহু রকমের জিনিস মাপিতে হয়। এই সকল মাপজোখের জন্য বিজ্ঞানী নানারকমের যন্ত্র ও উপায় উদ্ভাবন করেন। ইহাদের সাহায্যে একদিকে যেমন সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম মাপজোখ হয় অপর দিকে তেমনই কল্পনাতীত বৃহৎ মাপজোখও করা যায়। বিজ্ঞানীকে যেমন একইঞ্চির একলক্ষ-ভাগের একভাগ অবধি দৈর্ঘ্য মাপিতে হয় তেমনি আবার তাঁহাকে কোটি কোটি মাইল দূরে অবস্থিত নক্ষত্র ও নীহারিকার দূরত্ব মাপিবার জন্য প্রয়াসী হইতে হয়। এই সকলপ্রকার মাপের জন্যই বিজ্ঞানীকে উপযুক্ত যন্ত্র ও উপায় আবিষ্কার করিতে হইয়াছে।

সূক্ষ্মই হউক আর বৃহৎই হউক সকল রকম মাপের জন্য প্রথম প্রয়োজন একটি **মাপকাঠি** বা **এককের** (unit)। আমরা একটি ফিতা অথবা কাঠির সাহায্যে কোনও কিছুর দৈর্ঘ্য মাপিতে পারি, কিন্তু মাপ প্রকাশ করিবার জন্য একটি 'একক' চাই। যখন বলি টেবিলটির দৈর্ঘ্য ৫ ফুট তখন 'এক ফুট'কে আমরা দৈর্ঘ্যের 'একক' হিসাবে ব্যবহার করি। ইঞ্চি, ফুট, গজ, মাইল প্রভৃতি দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন একক। আমরা অবশ্য হাত দিয়া মাপিয়া বলিতে পারি টেবিলটির দৈর্ঘ্য সাড়ে তিন হাত' বা 'সওয়া তিন হাত', কিন্তু তাহাতে অসুবিধা আছে। সকল

নয় বলিয়া টেবিলটি ঠিক কতখানি দীর্ঘ তাহা বুঝা যাইবে না। াপজোখের বেলায় ইহা একেবারেই চলিতে পারে না। সকল মাপই ঃ প্রকাশ করিতে হইবে যাহা সুনির্দিষ্ট ও সর্বজনস্বীকৃত এবং যাহার ত্র তৈয়ারি করা যাইতে পারে। দৈর্ঘ্যের একক সম্বন্ধে যেমন একথা ান্য একক সম্বন্ধেও তাহাই। দৈর্ঘ্যের একক যেমন কোনও সুনির্দিষ্ট ' তেমনি ওজনের একক হইবে একটি সুনির্দিষ্ট 'ওজন', সময়ের একক নির্দিষ্ট পরিমাণ 'সময়'। পূর্বেই বলিয়াছি বিজ্ঞানের ছাত্রকে আরও াপিতে হয়, যেমন—শক্তি, গতি, ঘনত্ব, উষ্ণতা ইত্যাদি। প্রত্যেক াপই সেই জাতীয় কোনও এককে প্রকাশ করিতে হয়। তবে সকল নিরপেক্ষ নহে। একটি সহজ দৃষ্টান্ত হইতে একথা বুঝা যাইবে। ক, একটি ঘরের দৈর্ঘ্য ১৬ ফুট, প্রস্থ ১২ ফুট। সুতরাং ইহার ক্ষেত্রফল । 'এক বর্গফুট' ক্ষেত্রফলের একক কিন্তু ইহার মাপ দৈর্ঘ্যের একক নির্ভরশীল। আমরা বলি, ট্রেনের গতি ঘণ্টায় ৪০ মাইল। এখানে ঝাইতে দুই জাতীয় এককের প্রয়োজন হইয়াছে। সময়ের একক ঘণ্টা একক মাইল। দেখা গিয়াছে অধিকাংশ মাপই তিনটি মাত্র এককের াশ করা যায়। ইহারা হইল—দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক। এজন্য লা হয় **মৌলিক একক** (Fundamental Unit)। ইহাদের সাহায্যে এককেকে বলা হয় **গঠিত বা লব্ধ একক** (Derived Unit)।

ঃ বিভিন্ন পদ্ধতি

ইটি প্রচলিত পদ্ধতি আছে—

ট্রিক বা সি. জি. এস্. পদ্ধতি (Metric or C. G. S. System)। দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের এককের নাম যথাক্রমে সেন্টিমিটার, গ্রাম ও ৷জ্ঞানিক মাপ সাধারণতঃ এই পদ্ধতিতেই করা হয়। Centimetre, econd এই তিনটি শব্দের প্রথম অক্ষর লইয়া এই পদ্ধতিকে সংক্ষেপে (C. G. S.) পদ্ধতি বলা হয়।

টিশ বা এফ্. পি. এস্ পদ্ধতি (British or F. P. S. System)। এক ফুট, এক পাউণ্ড ও এক সেকেণ্ড যথাক্রমে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের

একক। এই পদ্ধতি প্রধানতঃ গ্রেটব্রিটেনে প্রচলিত। ফুট, পাউণ্ড, সেকেণ্ডকেই সংক্ষেপে এফ্. পি. এস্. (F. P. S.) বলা হয়।

3. আদর্শ এককের গুণাবলী এবং সি. জি. এস্. ও এফ্.পি.এস্. একক

আদর্শ (Standard) এককের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকা আবশ্যক :

(১) ইহা সুনির্দিষ্ট ও অপরিবর্তনীয় হইবে,

(২) ইহা সর্বজনস্বীকৃত হইবে,

(৩) সহজেই ইহার অনুকৃতি তৈয়ারি করা যাইবে।

এই গুণগুলির প্রতি দৃষ্টি রাখিয়া সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির এককাবলী নির্ধারিত হইয়াছে।

4. সি. জি. এস্. এককাবলী

দৈর্ঘ্যের একক—ফরাসী দেশের রাজধানী প্যারীর নিকট একটি সুরক্ষিত ঘরে প্লাটিনাম ও ইরিডিয়ামের তৈয়ারী একটি দণ্ড আছে। শূন্য ডিগ্রী (0°C) উষ্ণতায় এই দণ্ডের দুই প্রান্তের নিকটবর্তী দুইটি চিহ্নের মধ্যবর্তী দূরত্বকে **এক মিটার** বলা হইয়াছে এবং ইহা আন্তর্জাতিক স্বীকৃতি লাভ করিয়াছে। দৈর্ঘ্যের একক এক সেণ্টিমিটার এক মিটারের এক-শতাংশ। মিটারের পূর্বে মিলি, সেণ্টি, ডেসি, ডেকা, হেক্টো, কিলো প্রভৃতি উপসর্গ বসাইয়া এক মিটারের সহস্রাংশ শতাংশ, দশমাংশ, দশগুণ, শতগুণ ও সহস্রগুণ প্রভৃতি অনু-একক (sub-unit and multiple unit) তৈয়ারী হয়। ইহাই মেট্রিক পদ্ধতির বিশেষত্ব।

সেণ্টিমিটারের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ

10 মিলিমিটার (mm)	=	1 সেণ্টিমিটার (cm)
10 সেণ্টিমিটার	=	1 ডেসিমিটার
10 ডেসিমিটার	=	1 মিটার (m)
10 মিটার	=	1 ডেকামিটার
10 ডেকামিটার	=	1 হেক্টোমিটার
10 হেক্টোমিটার	=	1 কিলোমিটার

ভরের একক—কোন পদার্থের বস্তুপরিমাণকে উহার ভর বলা হয়। তুলা-দণ্ডের সাহায্যে আমরা 'ভর' মাপি। যে ঘরে আন্তর্জাতিক 'মিটার'টি রক্ষিত

আছে, সেই ঘরেই একটি প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়ামের তাল আছে। উহাই আদর্শ-ভর আন্তর্জাতিক কিলোগ্রাম। এক গ্রাম এই কিলোগ্রামের এক-সহস্রাংশ। 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক ঘন সেন্টিমিটার পরিমাণ বিশুদ্ধ জলের ভরকেও এক গ্রাম ধরা হয়। আদর্শ কিলোগ্রামের এক-সহস্রাংশের সহিত ইহার সামান্য পার্থক্য আছে, কিন্তু এই পার্থক্য এতই সামান্য যে অতি সূক্ষ্ম হিসাব ব্যতীত সর্বত্রই এই পার্থক্য অগ্রাহ্য করা হয়।

গ্রামের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ

10 মিলিগ্রাম	=	1 সেন্টিগ্রাম
10 সেন্টিগ্রাম	=	1 ডেসিগ্রাম
10 ডেসিগ্রাম	=	1 গ্রাম (gm)
1000 গ্রাম	=	1 কিলোগ্রাম (Kgm)

লিটার (**litre**)— 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক কিলোগ্রাম বিশুদ্ধ জলের ঘনফলকে এক **লিটার** বলা হয়। ইহা যদিও 1000 ঘন সেন্টিমিটার হইতে সামান্য বড় (1000·28 ঘন সে. মি.), সাধারণ হিসাবে 1 litre = 1000 ঘন সেন্টিমিটার ধরা হয়।

সময়ের একক—পৃথিবীর চতুর্দিকে সূর্যের আপাত পরিক্রমণের সময়কে ভিত্তি করিয়া সময়ের একক স্থির করা হইয়াছে। যে-কোনও স্থানে সূর্য একবার মধ্যরেখা (meridian) অতিক্রম করিবার পর আরেকবার অতিক্রম করা অবধি সময়কে বলা হয় **সৌরদিন** বা **দিন**। দেখা গিয়াছে সৌরদিনের পরিমাণ বৎসরের সকল সময় সমান নয়। এক বৎসরে ৩৬৫ দিনের গড় পরিমাণকে এক গড় সৌরদিন (Mean Solar day) বলা হয়। সময়ের একক এক **সেকেণ্ড** এই গড় সৌরদিনের $\frac{1}{24 \times 60 \times 60}$ বা $\frac{1}{86400}$ অংশ।

5. এফ্. পি. এস্. এককাবলী

দৈর্ঘ্যের একক—এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক **এক ফুট**। লণ্ডনে একটি বিশেষ গৃহে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি ব্রঞ্জদণ্ড রক্ষিত আছে। এই দণ্ডের দুই প্রান্তের নিকটবর্তী দুইটি চিহ্নের মধ্যবর্তী দূরত্বকে বলা হয় আদর্শ গজ (Standard yard)। এক ফুট এই আদর্শ গজের এক-তৃতীয়াংশ।

ফুটের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ

12 ইঞ্চি = 1 ফুট
3 ফুট = 1 গজ
1760 গজ = 1 মাইল

ভরের একক—ভরের একক **এক পাউণ্ড**। উল্লিখিত ব্রঞ্জদণ্ডের নিকট রক্ষিত একটি প্ল্যাটিনামের তালের ভরকে ধরা হইয়াছে এক **পাউণ্ড**।

সময়ের একক—এফ্. পি. এস্. এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে সময়ের একক একই অর্থাৎ এক **সেকেণ্ড**।

6. সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির দৈর্ঘ্য ও ভরের বিভিন্ন এককাবলীর মধ্যে সম্পর্ক

ব্রিটিশ এবং মেট্রিক পদ্ধতির দৈর্ঘ্য ও ভরের বিভিন্ন এককাবলীর মধ্যে পারস্পরিক সম্বন্ধ নিম্নে দেওয়া হইল :

মেট্রিক হইতে ব্রিটিশ

1 সেন্টিমিটার	=	·394 ইঞ্চি
1 মিটার	=	39·37 ইঞ্চি
	=	1·094 গজ
1 কিলোমিটার	=	·621 মাইল
1 গ্রাম	=	15·132 গ্রেন
1 কিলোগ্রাম	=	2·2046 পাউণ্ড

ব্রিটিশ হইতে মেট্রিক

1 ইঞ্চি	=	2·54 সেন্টিমিটার
1 ফুট	=	30·48 সেন্টিমিটার
1 গজ	=	·914 মিটার
1 মাইল	=	1609·00 মিটার
	=	1·609 কিলোমিটার
1 আউন্স	=	28·350 গ্রাম
1 পাউণ্ড	=	453·6 গ্রাম
1 টন	=	1016 কিলোগ্রাম

7. মেট্রিক পদ্ধতির সুবিধা

নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়াছ যে, মেট্রিক পদ্ধতির বিভিন্ন এককাবলী পরপর এমন ভাবে গঠিত যে প্রত্যেক একক পরবর্তী নিম্ন এককের দশগুণ এবং ঊর্ধ্ব এককের দশমাংশ। যেমন, এক সেন্টিমিটার এক মিলিমিটারের দশগুণ এবং এক ডেসি-মিটারের এক-দশমাংশ। সুতরাং কোনও রাশিকে নিম্ন একক হইতে পূর্ববর্তী

ঊর্ধ্ব এককে পরিণত করিতে হইলে দশমিক বিন্দুকে প্রয়োজনমত বামদিকে সরাইয়া দিলেই চলে। যেমন 23·4 সেন্টিমিটার = 2·34 ডেসিমিটার = ·234 মিটার ইত্যাদি। আবার ঊর্ধ্ব এককে প্রকাশিত রাশিকে নিম্ন এককে প্রকাশ করিতে হইলে দশমিক বিন্দুকে ডানদিকে সরাইয়া লইতে হয়। যেমন, 98 মিটার = 9·8 ডেসিমিটার = 98 সেন্টিমিটার = 980 মিলিমিটার। ভরের এককাবলী এবং অন্যান্য লব্ধ এককাবলী সম্বন্ধেও এই একই নিয়ম খাটে। ইহাই মেট্রিক পদ্ধতির মস্ত সুবিধা এবং এজন্য এই পদ্ধতিকে **দশমিক পদ্ধতি**ও বলে। ব্রিটিশ বা এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে এক একক হইতে অন্য এককে যাইতে হইলে নানা রকমের গুণ ভাগ করিতে হয়। ইহাতে হিসাব করিতে সময়ও বেশী লাগে এবং হিসাবের জটিলতাও বৃদ্ধি পায়। সেই তুলনায় মেট্রিক পদ্ধতিতে হিসাব করা অনেক সহজ, আর্যা মুখস্থ করিবার প্রয়োজন হয় না, কেবল দশমিক বিন্দু এদিক ওদিক সরাইলেই হয়। এই সুবিধার জন্যই অধিকাংশ বৈজ্ঞানিক মাপজোখ মেট্রিক পদ্ধতিতে করা হইয়া থাকে।

8. কোণ মাপিবার একক

কোণের মাপ সম্বন্ধে এ পর্যন্ত কিছুই বলা হয় নাই। কিন্তু অনেক সময় কোণ মাপিবার প্রয়োজন হয়। সুতরাং ইহারও একটি নির্দিষ্ট একক থাকা প্রয়োজন।

কোণ মাপিবার জন্য দুইটি প্রচলিত পদ্ধতি আছে, যথা—

(a) সেক্সাজেসিম্যাল পদ্ধতি (Sexagesimal system),

(b) সার্কুলার পদ্ধতি (Circular measure)।

A. সেক্সাজেসিম্যাল পদ্ধতি—

তোমরা সাধারণতঃ কোণের মাপ ডিগ্রীতে প্রকাশ কর। **এক ডিগ্রী** হইল সেক্সাজেসিম্যাল পদ্ধতিতে কোণের একক। এই পদ্ধতি অনুসারে

এক সমকোণ = $90°$ ডিগ্রী

$1°$ = $60'$ মিনিট

$1'$ = $60''$ সেকেণ্ড।

দুইটি সরলরেখা এক বিন্দুতে মিলিত হইলে কোণের উৎপত্তি হয়। কোণের উৎপত্তি আমরা অন্যভাবেও কল্পনা করিতে পারি। মনে কর, OA একটি সরলরেখা। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া OA রেখা যদি ঘুরিতে আরম্ভ করে তাহা হইলে A বিন্দু একটি বৃত্তাকার পথে চলিতে থাকিবে এবং OA ব্যাসার্ধ O বিন্দুতে OA অবস্থানের সহিত ক্রমবর্ধমান কোণ উৎপন্ন করিতে থাকিবে। ঘুরিতে ঘুরিতে এই ব্যাসার্ধ পুনরায় A বিন্দুতে উপস্থিত হইলে যে কোণ উৎপন্ন হইবে তাহার পরিমাণ চারি সমকোণ বা 360°। অর্থাৎ একবার সম্পূর্ণ ঘূর্ণনে চারি সমকোণ বা 360° কোণ উৎপন্ন হয়।

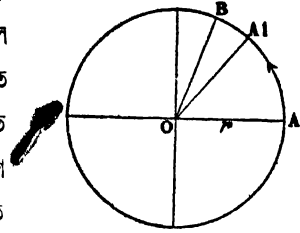



Fig. 1
কোণের উৎপত্তি

B. সার্কুলার পদ্ধতি—

এই পদ্ধতি অনুসারে কোণ মাপা হয় বৃত্তচাপ ও ব্যাসার্ধের অনুপাতের সাহায্য লইয়া এবং মাপ প্রকাশ করা হয় রেডিয়ানে। যেমন, ১নং চিত্রে AOA_1 কোণের মাপ $= \dfrac{\text{চাপ } AA_1}{\text{ব্যাসার্ধ } r}$ রেডিয়ান। সুতরাং বৃত্তের ব্যাসার্ধের সমান দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি চাপ কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা এক রেডিয়ান (Radian) এবং ইহাই এই পদ্ধতিতে কোণের একক।

যেহেতু বৃত্তের পরিধি$=2\pi r$ এবং $\pi=3{\cdot}14159\cdots$, সুতরাং একবার সম্পূর্ণ ঘূর্ণনে যে কোণ উৎপন্ন হয় তাহার পরিমাণ 2π রেডিয়ান,

$$\text{অর্থাৎ}\quad 2\pi \text{ radian} = 360^\circ$$
$$\text{বা}\quad \pi \text{ radian} = 180^\circ$$

$$\text{বা } 1 \text{ রেডিয়ান } (1^c) = \frac{180}{\pi} \text{ ডিগ্রী} = 57^\circ 17' 45''$$

Worked out examples

1. একটি চাকা 2 কিলোমিটার 5 হেক্টোমিটার 9 মিটার 2 ডেসিমিটার পথ অতিক্রম করিতে 1230 বার ঘুরে ; ঐ চাকার পরিধি নির্ণয় কর।

2 কিলোমিটার 5 হেক্টোমিটার 9 মিটার 2 ডেসিমিটার

$= 2509{\cdot}2$ মিটার

$\therefore$ নির্ণেয় পরিধি $= \frac{2509{\cdot}2}{1230} = 2{\cdot}04$ মিটার

2. এক ঘনফুট কোহলের ভর 94 পাউণ্ড। এক লিটার কোহলের ভর গ্রামে নির্ণয় কর।

1 লিটার $=$ ·035 ঘনফুট

$\therefore$ 1 লিটার কোহলের ভর $= {\cdot}035 \times 94$ পাউণ্ড

$= {\cdot}035 \times 94 \times 453{\cdot}6$ গ্রাম

$= 1492{\cdot}5\cdots$ গ্রাম

3. এক টনে কত কিলোগ্রাম ?

1 টন $=$ 2240 পাউণ্ড

1 পাউণ্ড $=$ 453·6 গ্রাম

1000 গ্রাম $=$ 1 কিলোগ্রাম

$\therefore$ 1 টন $= \frac{2240 \times 453{\cdot}6}{1000} =$ 1016 কিলোগ্রাম

4. একটি বেলনের (cylinder) ব্যাস 4 সেণ্টিমিটার এবং ইহার উপরি-তলের ক্ষেত্রফল 62·80 বর্গসেণ্টিমিটার। ইহার উচ্চতা নির্ণয় কর।

বেলনের ক্ষেত্রফল $= 2\pi r h$

$\therefore h = \frac{\text{ক্ষেত্রফল}}{2\pi r} = \frac{62{\cdot}80}{2 \times 3{\cdot}14 \times 2}$ সে. মি. $= \frac{62{\cdot}80}{12{\cdot}56}$ সে. মি.

$= 5$ সে. মি.

অনুশীলনী

1. How many yards, feet and inches are there in 1 kilometre ?
[1093 yds etc.]

1 কিলোমিটারকে গজ, ফুট, ইঞ্চিতে পরিবর্তিত কর। [উঃ 1093 গজ ইত্যাদি]

2. Height of Mt. Everest is 29141 ft. Find its height in kilometre correct to one place of decimal. [8·9 km]

এভারেষ্ট পর্বতশৃঙ্গের উচ্চতা 29141 ফুট। এক দশমিক স্থান পর্যন্ত ইহার উচ্চতা কিলোমিটারে বাহির কর। [উঃ 8·9 কিলোমিটার]

3. What fraction is (a) 1 millimetre of 1 inch, (b) 1 foot of 1 decimetre, and (c) 1 inch of 1 centimetre ?
[(a) ·039, (b) 3·048, (c) 2·54]

(ক) এক ইঞ্চির এক মিলিমিটার, (খ) এক ডেসিমিটারের এক ফুট, এবং (গ) এক সেন্টিমিটারের এক ইঞ্চি কত ভগ্নাংশ নির্ণয় কর।

[উঃ (ক) ·039, (খ) 3·048, (গ) 2·54]

4. What is meant by a 'unit' ? Explain the difference between fundamental and derived units.

'একক' কাহাকে বলে ? মৌলিক এবং লব্ধ এককের মধ্যে পার্থক্য কি—তাহা বুঝাইয়া লিখ।

5. What are the two main systems of measurement ? Which of these is more advantageous and why ?

বৈজ্ঞানিক মাপজোখের জন্য কয়প্রকার পদ্ধতি প্রচলিত তাহা বর্ণনা কর। ইহাদের মধ্যে কোন্‌টি সুবিধাজনক এবং কেন সুবিধাজনক তাহা উল্লেখ কর।

6. Find out the length of a page of this book in inches and in cms and determine the number of centimetres in an inch.

এই পুস্তকের একটি পৃষ্ঠার দৈর্ঘ্য ইঞ্চি এবং সেন্টিমিটারে বাহির করিয়া এক ইঞ্চিতে কত সেন্টিমিটার হয় তাহা নির্ণয় কর।

7. Find the total area of the surfaces of a 4cm. cube and also that of the surfaces of four separate 1cm. cubes.
[(i) 96 sq. cm, (ii) 24 sq. cm]

4 সেন্টিমিটার কিউবের উপরিতল এবং 4টি পৃথক্ ঘন সেন্টিমিটারের উপরিতলের ক্ষেত্রফল বাহির কর। [উঃ (i) 96 বর্গ সে. মি., (ii) 24 বর্গ সে. মি.]

8. Draw three triangles with altitude 4 cm. and bases 6cm., 7 cm., and 8 cm. respectively. Find the area of each.

6, 7 এবং 8 সেন্টিমিটার ভূমি এবং 4 cm. উচ্চতা লইয়া যথাক্রমে তিনটি ত্রিভুজ অঙ্কন কর এবং ইহাদের প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল বাহির কর।

9. Find the area of a sphere of which the diameter is 18 inches. [1017 sq. inch]

18 ইঞ্চি ব্যাসের একটি গোলকের উপরিভাগের ক্ষেত্রফল বাহির কর। [উঃ 1017 বর্গ ইঞ্চি]

10. How many litres make one cubic foot ? [28·3 litres]

এক ঘন ফুটে কত লিটার ? [উঃ 28·3 লিটার]

11. The diameter and the height of a cylinder are 12 cm. and 20 cm. respectively. Find the area of its curved surface. [753 6 sq cm]

একটি বেলনের ব্যাস 12 সে. মি. এবং উচ্চতা 20 সে. মি.। ইহার বক্রতলের ক্ষেত্রফল বাহির কর। [উঃ 753 6 বর্গ সে মি]

12. The diameter of a 3-inch thick lead disc is 12 inches. How many shots of ·05 inch radius can be made from this ? [21600]

একটি 3 ইঞ্চি পুরু সীসার চাকতির ব্যাস 12 ইঞ্চি। ইহা দ্বারা ·05 ইঞ্চি ব্যাসার্ধের কয়টি গুলি প্রস্তুত করিতে পারিবে ? [উঃ 21600]

13. Define :—

centimetre, gramme, mean solar day, pound and foot.

সংজ্ঞা লিখ :—

সেন্টিমিটার, গ্রাম, গড় সৌরদিন, পাউণ্ড এবং ফুট।

14. The quota of rice per week per head is 1 seer. Find the quota per day per head in the metric system. [132·9 gms]

প্রতি সপ্তাহে মাথাপিছু 1 সের করিয়া চাউল পাইলে মেট্রিক পদ্ধতিতে ইহার দৈনিক পরিমাণ কত হইবে ? [উঃ 132·9 গ্রাম]

দ্বিতীয় অধ্যায়

মাপজোখ করিবার যন্ত্রাদির ব্যবহার (Use of Measuring Instruments)

প্রত্যেক পদার্থ-বিজ্ঞানের ল্যাবরেটরী বা পরীক্ষাগারে দৈর্ঘ্য, ভর, ওজন, সময় ইত্যাদি মাপিবার নানারকম যন্ত্র থাকে। এই রকম কয়েকটি যন্ত্রের সঙ্গে আমরা এখন পরিচয় করিব।

দৈর্ঘ্যের পরিমাপ

9. মিটার স্কেল

সূক্ষ্ম মাপের প্রয়োজন না হইলে সাধারণতঃ মিটার স্কেল দিয়া দৈর্ঘ্য মাপা হয়। এক মিটার দীর্ঘ ও প্রায় এক ইঞ্চি চওড়া সামান্য পুরু একটি আয়তাকার কাঠ দিয়া মিটার স্কেল তৈয়ারী হয়। ইহার দৈর্ঘ্যকে একদিকে 100 সমান ভাগে ভাগ করিয়া 1, 2, 3 করিয়া 100 অবধি সেন্টিমিটারের চিহ্ন দেওয়া হয় এবং প্রত্যেক সেন্টিমিটারকে আবার দশ সমান ভাগে ভাগ করিয়া মিলিমিটারের দাগ কাটা হয়। সেন্টিমিটারের দাগের বিপরীত দিকে ইঞ্চির দাগ কাটিয়া প্রত্যেক ইঞ্চিকে দশ সমান ভাগে ভাগ করা হয়। 1 ইঞ্চি হইতে শুরু করিয়া 39 ইঞ্চির কিছু বেশী দূর অবধি দাগ কাটা থাকে (1 মিটার = 39.37 ইঞ্চি)।

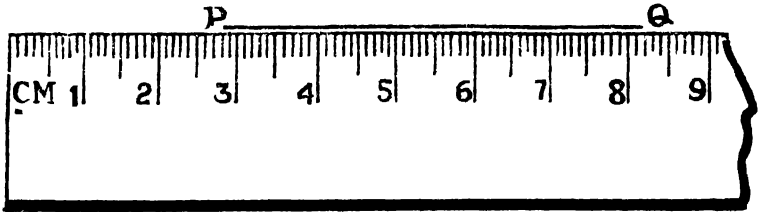



Fig 2
মিটার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্যমাপন

10. মিটার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্যমাপন

মনে করা যাক, PQ একটি রডের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। প্রথমতঃ, রডটি স্কেলের ধার ঘেঁষিয়া স্কেলের সমান্তরালভাবে যে-কোনও স্থানে

বসাও। তারপর P প্রান্ত এবং Q প্রান্ত স্কেলের কোন্ দাগ বরাবর পড়িয়াছে তাহা দেখ।

[খুব সতর্কতার সহিত ইহা দেখা প্রয়োজন। দেখিবার সময় চোখের দৃষ্টিরেখা যেন রডটির প্রান্ত বরাবর স্কেলের দাগের সহিত লম্বভাবে থাকে, নতুবা পাঠ লইতে ভুল হইবে এবং চোখের বিভিন্ন অবস্থানে বিভিন্ন পাঠ হইবে। কেন এইরূপ ভুল হয় নীচের চিত্রটি হইতে বুঝিতে পারিবে।

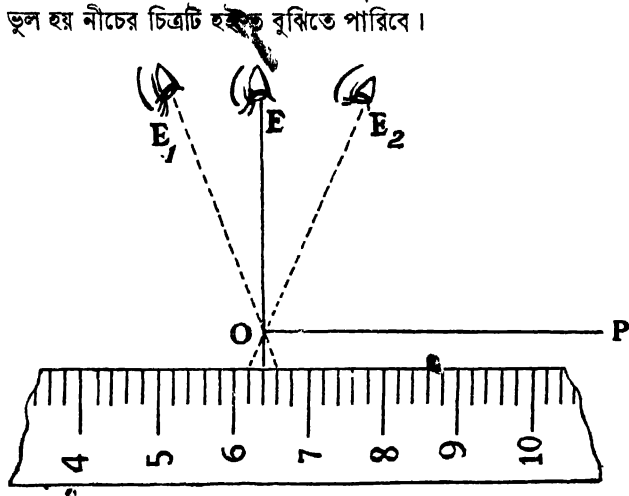



Fig. 3
লম্বনজনিত ভুল

E_1 স্থানে চোখ রাখিয়া যদি স্কেলের অংশরেখা লক্ষ্য কর তাহা হইলে O প্রান্তের পাঠ হইবে 6·3 সে. মি। কিন্তু E_2 স্থানে চোখ রাখিয়া যদি দেখ তাহা হইলে O প্রান্তকে স্কেলের 6·1 সে. মি. দাগে অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে। পর্যবেক্ষকের চোখের অবস্থানের জন্য এরূপ ভুল হওয়াকে প্যারালাক্স-ঘটিত বা লম্বনজনিত ভুল (Parallax error) বলা হয়।

ঘড়ি দেখিতে গিয়া অনেক সময় আমরা এই ভুল করি। ঘড়িতে মিনিটের কাঁটা ও ঘড়ির চাকৃতির (dial) মধ্যে অনেকটা ফাঁক থাকে। যদি আমরা চাকৃতির তলের সহিত সমকোণে ঘড়ির অঙ্ক পাঠ করি তবেই নির্ভুল পাঠ হইবে নতুবা ভুল হইবার সম্ভাবনা থাকিবে। ঘড়িতে যখন ঠিক দশটা তখন বামদিক

হইতে দেখিলে মনে হইবে দশটা বাজিয়া দুই এক মিনিট বেশী হইয়াছে; কিন্তু ডানদিক হইতে তাকাইলে মনে হইবে দশটা বাজিতে দুই এক মিনিট বাকী আছে।]

মনে কর, P প্রান্ত 2·8 ও Q প্রান্ত 8·2 সেণ্টিমিটারে পড়িয়াছে। সুতরাং রডটির দৈর্ঘ্য 8·2−2·8=5·4 সেণ্টিমিটার। কিন্তু এমনও হইতে পারে যে একটি প্রান্ত বা উভয় প্রান্তই কোনও দাগের উপর পড়ে নাই—দুইটি দাগের মধ্যে কোথাও পড়িয়াছে। সেক্ষেত্রে মনে মনে এক মিলিমিটারকে 10 ভাগে ভাগ করিয়া চোখের আন্দাজে ঠিক করিতে হইবে প্রান্তটি কোন্ ভাগে পড়িয়াছে। ইহাতে ·5 মিলিমিটার বা ·05 সেণ্টিমিটার অবধি ভুল হইতে পারে।

অনেক স্থলে স্কেলের অংশাঙ্কনগুলি নিখুঁতভাবে সমান থাকে না। এজন্য রডটিকে স্কেলের বিভিন্ন অংশে স্থাপন করিয়া দৈর্ঘ্য মাপা উচিত এবং ঐ সকল মাপ হইতে গড় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা উচিত। মাপের পাঠগুলি ছকের আকারে সন্নিবিষ্ট করিবে। নীচে একটি ছকের নমুনা দেওয়া হইল।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	P প্রান্ত	Q প্রান্ত			দণ্ডের দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য
	স্কেলের পাঠ x	স্কেলের পাঠ	চোখের আন্দাজ	সম্পূর্ণ পঠন y	$y-x$	
1	39·5 সে.মি.	54·7 সে.মি	·02 সে মি.	54·72 সে. মি.	15·22 সে.মি.	
2	50 সে. মি.	65 2 সে.মি	03 সে মি.	65·23 সে. মি	15·23 সে.মি	15 22 সে. মি
3	65 সে. মি.	80·2 সে.মি.	·01 সে মি.	80 21 সে. মি.	15·21 সে.মি	
					3) 45·66	
					15·22	

11. ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale)

সাধারণ স্কেলের সাহায্যে ঐ স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ অবধি নির্ভুলভাবে মাপা যাইতে পারে। ঐ স্কেলের সঙ্গে একটি ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার করিয়া ক্ষুদ্রতম

অংশের নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ অবধি নির্ভুলভাবে মাপা যাইতে পারে। ভার্নিয়ার স্কেলটি একটি ছোট স্কেল। ইহার আবিষ্কারক Paul Vernier-এর নামানুসারে ইহার নাম হইয়াছে। ইহা মূল স্কেলের গায়ে গায়ে এমনভাবে বসান থাকে যে ইহাকে মূল স্কেলের সমান্তরালভাবে এদিক ওদিক সরান যায়। ইহার গায়ে

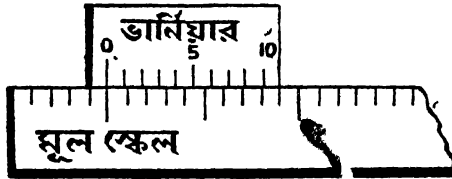



Fig 4
ভার্নিয়ার স্কেল

অঙ্কিত স্কেলের অংশগুলির সহিত মূল স্কেলের অংশগুলির বিশেষ সম্বন্ধ আছে। একটি ভার্নিয়ার স্কেল লইয়া পরীক্ষা করিলেই এই সম্বন্ধ ধরা পড়ে। মনে করা যাক, একটি ভার্নিয়ার স্কেল সমান দশভাগে ভাগ করা আছে। ইহাকে মূল স্কেলের সহিত মিলাইয়া যেন দেখা গেল ইহার দশটি অংশ মূল স্কেলের নয়টি ক্ষুদ্রতম অংশের সমান। সুতরাং আমরা বলিতে পারি,

ভার্নিয়ার স্কেলের 10 অংশ = মূল স্কেলের 9 ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ ভার্নিয়ার স্কেলের 1 অংশ = মূল স্কেলের $\frac{9}{10}$ বা ·9 ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ মূল স্কেলের 1 ক্ষুদ্রতম অংশ — ভার্নিয়ার স্কেলের 1 অংশ

= মূল স্কেলের 1 ক্ষুদ্রতম অংশ — মূল স্কেলের ·9 ক্ষুদ্রতম অংশ

= মূল স্কেলের ·1 ক্ষুদ্রতম অংশ

মূল স্কেলের 1 ক্ষুদ্রতম অংশ ও ভার্নিয়ার স্কেলের 1 অংশের অন্তরকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক (Vernier constant) বলে। স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ 1 সেন্টিমিটার হইলে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক হইবে ·01 সেন্টিমিটার এবং ঐ স্কেলের সাহায্যে ·01 সেন্টিমিটার অবধি দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে মাপা যাইবে।

সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে ছোট ছোট রডের বা অন্য কিছুর দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য যে ভার্নিয়ার যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাতে সেন্টিমিটার এবং ইঞ্চি এই দুই মূল স্কেলের মাঝখানে একটি খাঁজের মধ্যে ভার্নিয়ার স্কেলটি বসান থাকে।

12. ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্যমাপন

এখন ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে অপর একটি রডের দৈর্ঘ্য আরও নির্ভুলভাবে মাপা যাক। মাপিবার পূর্বে ভার্নিয়ার স্কেলটি মূল স্কেলের যে প্রান্তে

0 (শূন্য) দাগ কাটা আছে সেই প্রান্তে আনিয়া দেখিতে হইবে ভার্নিয়ার স্কেলের 0 দাগ মূল স্কেলের 0 দাগের সহিত মিলে কিনা। স্কেলে ত্রুটি না থাকিলে মিলিয়া যাইবে। এখন ভার্নিয়ারটি সরাইয়া চিত্রের অনুরূপভাবে রডটি এমনভাবে

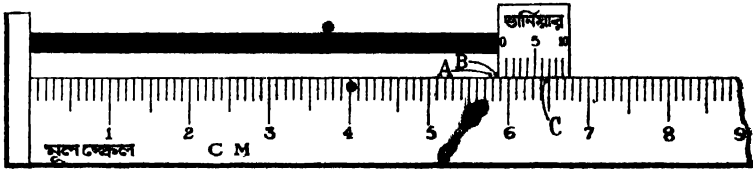



Fig 5
ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্যমাপন

রাখিতে হইবে যেন ইহার একপ্রান্ত মূল স্কেলের '0' যেদিকে সেদিকে ঠেকিয়া থাকে। তারপর ভার্নিয়ারটি সরাইয়া রডটির অপরপ্রান্তে ঠেকাইতে হইবে। মনে করা যাক, এই অবস্থায় দেখা গেল ভার্নিয়ারের শূন্য (0) দাগটি মূল স্কেলের 5·8 সেন্টিমিটার ও 5·9 সেন্টিমিটারের মধ্যে পড়িয়াছে। সুতরাং বুঝা গেল রডটির দৈর্ঘ্য 5 8 সেন্টিমিটারের বেশী ও 5 9 সেন্টিমিটারের কম। 5·8 সেন্টিমিটার হইতে কতখানি বেশী এখন তাহা স্থির করিতে হইবে। 5নং চিত্র হইতে স্পষ্টই বুঝা যায় রডটির দৈর্ঘ্য = 5·8 সে. মি + AB। অতএব আমাদিগকে AB অংশের দৈর্ঘ্য বাহির করিতে হইবে। ইহা এইরূপে বাহির করা হয়ঃ ভার্নিয়ার স্কেলের দাগগুলি পর পর লক্ষ্য করিয়া দেখ যে ইহার সপ্তম দাগ মূল স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। এক্ষেত্রে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক ·01 কে 7 দিয়া গুণ করিলেই AB অংশের দৈর্ঘ্য বাহির হইবে। কারণ লক্ষ্য করিয়া দেখ

AB = AC − BC = 7 মূল স্কেলের অংশ − 7 ভার্নিয়ার স্কেলের অংশ
= 7 (এক মূল স্কেলের অংশ − এক ভার্নিয়ার স্কেলের অংশ)
= 7 × ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক
= ·07 সে. মি.

সুতরাং ভার্নিয়ারের শূন্য (0) দাগটি মূল স্কেলের 5·8 সেন্টিমিটার দাগ হইতে 7 × ·01 সেন্টিমিটার দূরে রহিয়াছে অর্থাৎ রডটির দৈর্ঘ্য (5·8 + ·07) = 5·87 সেন্টিমিটার।

[ভার্নিয়ারের সাহায্যে দৈর্ঘ্য মাপিবার নিয়মটি সংক্ষেপে এইভাবে লেখা যায়—

নির্ণেয় দৈর্ঘ্য = মূল স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ × ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক।

মূল স্কেলের পাঠ হইল সেই দাগ যাহার ঠিক পরেই ভার্নিয়ারের শূন্য (0) দাগটি পড়িয়াছে এবং ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ বলিতে বুঝায় ভার্নিয়ার স্কেলের কতসংখ্যক দাগটি মূল স্কেলের কোনও দাগের সহিত ঠিক ঠিক ভাবে মিলিয়াছে।]

রডটিকে উল্টাইয়া পাল্টাইয়া বা এদিক ওদিক ফিরাইয়া অনুরূপ উপায়ে আরও কয়েকবার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর এবং উহা হইতে গড় দৈর্ঘ্য বাহির কর। পর্যবেক্ষণের ফল কিভাবে ছকে সন্নিবিষ্ট করিবে তাহার একটি নমুনা নীচে দেওয়া হইল। আমরা পরে দেখিব যে সঠিকভাবে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবার জন্য অনেক যন্ত্রের সঙ্গে ভার্নিয়ার স্কেল বসান থাকে। ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক সকল যন্ত্রে সমান থাকে না। যন্ত্র ব্যবহার করিবার পূর্বে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া লওয়া প্রয়োজন।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	সেন্টিমিটার স্কেল ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = 01 সে. মি.				ইঞ্চি স্কেল ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = 01 ইঞ্চি			
	মূল স্কেলের পাঠ	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ	দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য	মূল স্কেলের পাঠ	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ	দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য
1								
2								
3								

13. ভার্নিয়ার বা স্লাইড ক্যালিপার্স (Vernier or Slide Callipers)

অপেক্ষাকৃত ছোট ছোট জিনিসের দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। পূর্বে যে ভার্নিয়ার স্কেলের কথা বলা হইল ইহাও সেইরূপ একটি যন্ত্র—ধাতুদ্বারা তৈয়ারী।

নিম্নে দেখ, QR একটি সাত আট ইঞ্চি লম্বা ধাতুর স্কেল—একদিকে ইঞ্চি ও তাহার দশমাংশে এবং অন্যদিকে সেণ্টিমিটার ও মিলিমিটারে চিহ্নিত। এই স্কেলের শূন্য (0) যেদিকে সেই প্রান্তে লম্বভাবে অবস্থিত P একটি দাড়া। লম্বভাবে অবস্থিত 'T' আরেকটি দাড়া। এইটি একটি ভার্নিয়ারের সঙ্গে যুক্ত। ভার্নিয়ারটি মূল স্কেলের উপর দিয়া এদিক ওদিক সরান যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে 'T' দাড়াটিও সরে।

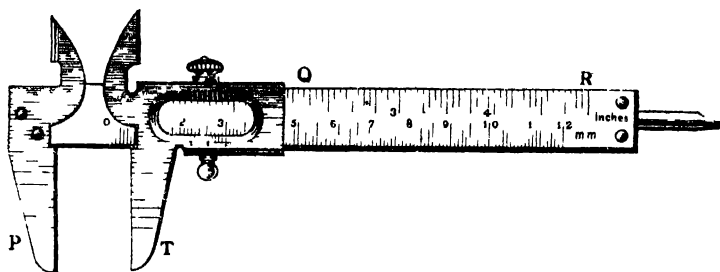



Fig 6
ভার্নিয়ার বা স্লাইড ক্যালিপার্স

যে জিনিসের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে তাহাকে P এবং T দাড়ার ফাঁকের মধ্যে রাখিয়া মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নিতে হয় এবং তারপর পূর্বে যে নিয়মের কথা বলা হইয়াছে সেই নিয়মে দৈর্ঘ্য হিসাব করা হয়। P এবং T দাঁড়ার মধ্যের ব্যবধানই জিনিসটির দৈর্ঘ্য। T দাড়াটি যখন P দাড়ার সংলগ্ন থাকে তখন ভার্নিয়ারের শূন্য (0) চিহ্ন মূল স্কেলের শূন্য (0) চিহ্নের সহিত মিলিয়া যাওয়া উচিত। ক্যালিপার্সটি ব্যবহার করিবার পূর্বে ইহা দেখিয়া লওয়া দরকার।

14. ভার্নিয়ার যন্ত্রের ভুল ও উহার সংশোধন

একটি সাধারণ ভার্নিয়ার যন্ত্র অথবা স্লাইড ক্যালিপার্স যন্ত্র যদি নিখুঁত হয় তবে ভার্নিয়ার স্কেলটি সর্বশেষ বামদিকে ঠেলিয়া দিলে ভার্নিয়ারের 0 চিহ্ন মূল স্কেলের 0 চিহ্নের সহিত মিলিয়া যাইবে। কিন্তু অনেক সময় দেখা যায় বহুদিন ব্যবহারের ফলে অথবা নির্মাণের ক্রটির জন্য এইরূপ হয় না—ভার্নিয়ারের শূন্য চিহ্ন মূল স্কেলের শূন্য চিহ্নের বামদিকে বা ডানদিকে সরিয়া থাকে (বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই বামদিকে থাকে)। এই সকল ক্ষেত্রে ভুলের পরিমাণ নির্ণয় করিয়া উপযুক্ত

সংশোধনের ব্যবস্থা করিতে হয়। কিরূপে ইহা করা হয় নীচের দৃষ্টান্ত হইতে বুঝিতে পারিবে।

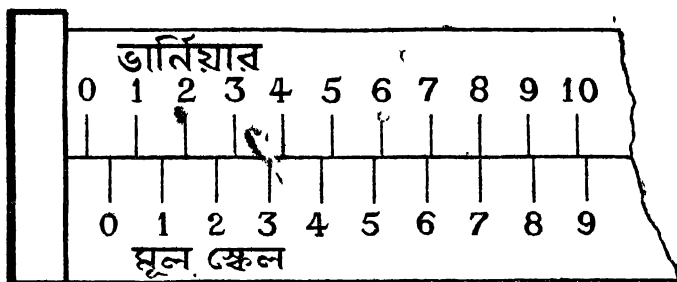



Fig 7
ভার্নিয়ার স্কেলের যান্ত্রিক ভুল

7নং চিত্রে যে ভার্নিয়ার যন্ত্রটি দেখান হইয়াছে তাহাতে ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য (0) মূল স্কেলের শূন্য (0) চিহ্নের বাম দিকে আছে। লক্ষ্য করিয়া দেখ, ভার্নিয়ারের ৮ম অংশাঙ্কন মূল স্কেলের ৭ম অংশাঙ্কনের সহিত মিলিয়াছে। অতএব ভার্নিয়ারের ১০ম অংশাঙ্কন মূল স্কেলের নবম অংশাঙ্কন হইতে 2×·01 সে. মি. বা ·02 সে. মি. বামদিকে রহিয়াছে। সুতরাং ভার্নিয়ারের শূন্য (0) চিহ্ন মূল স্কেলের শূন্য (0) হইতে 0·2 সে. মি. বাম দিকে আছে। ইহাই এই যন্ত্রের ভুল। কোনও কিছুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবার সময় সাধারণ নিয়মে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া এই ভুলের পরিমাণ যোগ করিলে সংশোধিত বা নির্ভুল দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

যান্ত্রিক ভুল থাকিলে স্লাইড ক্যালিপার্স বা ভার্নিয়ার যন্ত্রে পর্যবেক্ষণের ফল কিভাবে লিপিবদ্ধ করিবে তাহার একটি দৃষ্টান্ত নীচে দেওয়া হইল।

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক—·01 সে. মি.

যান্ত্রিক ভুলের জন্য সংশোধনের পরিমাণ = + ·02 সে. মি.

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেলের পাঠ	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ	দৈর্ঘ্য	সংশোধিত দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য
1	2·5 সে. মি.	7	2·57 সে. মি	2·59 সে. মি.	
2	2·5 সে. মি.	8	2·58 ,,	2·60 ,,	2·59 সে. মি.
3	2·5 সে. মি.	7	2·57 ,,	2·59 ,,	

3 | 7·78
2·59

(যদি ভার্নিয়াবের শূন্য চিহ্ন মূল স্কেলের শূন্য চিহ্নের ডানদিকে ·02 সে. মি. দূবে থাকিত তবে যান্ত্রিক ভুলের সংশোধনেব পরিমাণ হইত —·02 সে. মি ।)

15. মাইক্রোমিটার স্ক্রু-গজ (Micrometer Screw-gauge)

দৈর্ঘ্য মাপিবাব ইহা একটি অতি সূক্ষ্ম যন্ত্র। সরু তাবের ব্যাস অথবা পাতলা কোনও জিনিসেব বেধ এই যন্ত্রেব সাহায্যে এক সেন্টিমিটাবেব এক-সহস্রাংশ ($\frac{1}{1000}$) অবধি নির্ভুল ভাবে মাপা যায়।

ABC একটি U-আকৃতি বিশিষ্ট ইস্পাত খণ্ড। A প্রান্তেব সঙ্গে U-এব ভিতব দিকে যুক্ত G একটি ছোট ইস্পাত খণ্ড। ইহাব প্রান্তটি মসৃণ। C প্রান্তে একটি নাট (Nut) ও নাটেব সঙ্গে লাগান বাহিবেব দিকে নল বাহিয়াছে। নলেব গায়ে মিলিমিটাব স্কেলে দাগকাটা। এই নল ও নাটেব ভিতব দিযা একটি স্ক্রু গিযাছে। স্ক্রুব D প্রান্তটি মসৃণ এবং G খণ্ডেব মুখোমুখী। স্ক্রুটিব অপব প্রান্তেব সহিত একটি ক্যাপ (Cap) আটকান আছে (FE)। এই ক্যাপটি ঘুবাইযা G এবং D'ব মধ্যেব ব্যবধান কম-বেশী কবা যায। ক্যাপটিব গোলাকাব F প্রান্ত ক্রমশঃ ঢালু হইযা প্রায নলেব গাযেব সহিত মিশিযাছে এবং ইহাব পরিধিতে একটি বৃত্তাকাব স্কেল অঙ্কিত বহিযাছে। এই বৃত্তাকাব স্কেল সাধাবণতঃ 50 বা 100 সমান ভাগে বিভক্ত থাকে। ক্যাপটি ঘুবাইতে ঘুবাইতে যখন স্ক্রু'ব D প্রান্ত অগ্রসব হইযা G'ব সঙ্গে লাগিযা যায় তখন ক্যাপটিব F প্রান্তও অগ্রসব হইযা মিলিমিটাব স্কেলেব শূন্য (0) দাগেব উপব পড়ে এবং বৃত্তাকাব স্কেলেব শূন্য (0) দাগটি নলেব গাযে একটি নির্দিষ্ট বেখা ববাবর থাকে। সকল অবস্থাতেই মিলিমিটার স্কেলেব শূন্য (0) দাগ হইতে ক্যাপের F প্রান্তেব দূবত্ব G ও D'ব মধ্যবর্তী ব্যবধানেব সমান। ক্যাপটি একবাব সম্পূর্ণ ঘুবাইলে স্ক্রু'ব D প্রান্ত যতখানি সবে তাহাকে বলে স্ক্রু'ব পীচ্ (Pitch) P. ইহা স্ক্রু'র দুইটি পবপব (consecutive) দাঁতেব মধ্যেব ব্যবধানের সমান। বাংলায় এক প্যাঁচ বলিলেও

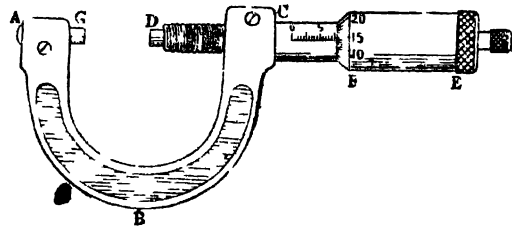



Fig 8
মাইক্রোমিটাব স্ক্রু গজ

ইহাই বুঝায়। সাধারণতঃ পীচ্ এক বা অর্ধ মিলিমিটার থাকে। বৃত্তাকাব স্কেলের 1 অংশ্ ঘুরাইলে D প্রান্ত যতখানি সরে তাহাকে যন্ত্রটির লিস্ট কাউণ্ট (least count) বা নিম্নতম ধ্রুবক বলে।

$$\therefore \text{ লিস্ট কাউণ্ট } (L.C.) = \frac{\text{পীচ্ } (P)}{\text{বৃত্তাকাব স্কেলের অংশ সংখ্যা } (N)}$$

পীচ্ = 1 m. m. ও N = 100 হইলে

$$L.C. = \frac{1}{100} \text{ m.m.} = \frac{1}{1000} \text{ cm.} = \cdot 001 \text{ cm.}$$

যে জিনিসের ব্যাস বা বেধ মাপিতে হইবে তাহাকে G ও D'ব মধ্যবর্তী ফাঁকেব মধ্যে ঠিক ঠিক ভাবে বাখিযা মিলিমিটাব স্কেলেব শূন্য (0) দাগ হইতে F প্রান্তেব দুবত্ব মাপিলেই ব্যাস বা বেধ জানা যায।

16. স্ফেরোমিটার (Spherometer)

এই যন্ত্রটিও স্ক্রু-গজেব নিযমেই তৈযাবী। চিত্রে দেখ তিনটি 'পাযা'ব উপব বসান একটি কাঠামোব ঠিক মধ্যস্থলে এইটি মাইক্রোমিটাব স্ক্রু বহিযাছে। 'পাযা' তিনটি পবস্পব হইতে সমান দূবে অবস্থিত এবং মাইক্রোমিটাব স্ক্রুটি আবাব তিনটি পাযা হইতেই সমদূববর্তী। স্ক্রু'ব মাথায একটি বৃত্তাকাব স্কেল এবং কাঠামোটিব উপব খাড়াভাবে দাঁড়ান একটি মিলিমিটাব স্কেল আছে। স্ক্রু ঘুবাইলে স্ক্রু'ব নীচেব প্রান্ত কতখানি নামে বা

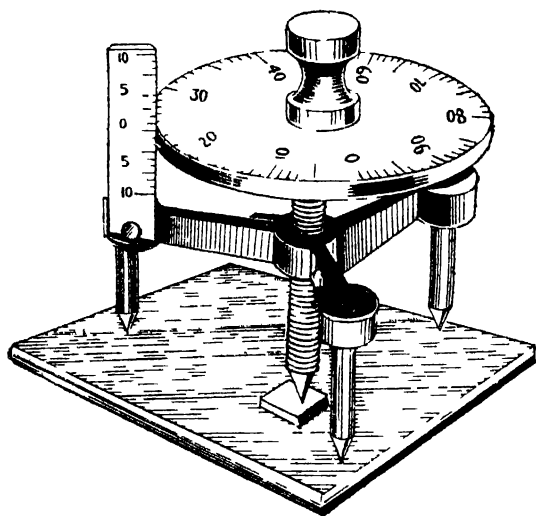



Fig 9—স্ফেবোমিটার

ওঠে তাহা এই মিলিমিটাব স্কেল ও বৃত্তাকার স্কেল হইতে জানা যায। ব্যবহাব

করিবার পূর্বে স্ক্রু-গজের মত ইহার পীচ্ ও লিস্ট কাউণ্ট নির্ণয় করিয়া লইতে হয়। সাধারণতঃ পীচ্ $\frac{1}{2}$ বা 1 মিলিমিটার এবং বৃত্তাকার স্কেলের অংশ সংখ্যা 50 বা 100 থাকে।

কোনও বক্রতলের (যেমন লেন্সের তল) ব্যাসার্ধ (radius of curvature) এই যন্ত্রের সাহায্যে মাপা যায়। মনে করা যাক, একটি অবতলের (concave surface) বক্রতা ব্যাসার্ধ মাপিতে হইবে। যন্ত্রটি প্রথমতঃ একটি সমতল কাচের প্লেটের উপর রাখিয়া ধীরে ধীরে স্ক্রুটি নামাইতে হইবে, যতক্ষণ না স্ক্রু'র প্রান্তটি কাচের প্লেটটি স্পর্শ করে। এই অবস্থায় মিলিমিটার স্কেলে বৃত্তাকার স্কেলের অবস্থান দেখিয়া লিখিয়া রাখিতে হইবে। তারপর যন্ত্রটি অবতলের উপর রাখিতে হইবে। দেখা যাইবে পায়া তিনটি তলের সঙ্গে ঠেকিয়া রহিয়াছে কিন্তু স্ক্রু'র প্রান্তটি উপরে উঠিয়া আছে। এখন পুনরায় ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া স্ক্রু'র প্রান্তটিকে নামাইয়া তলটিকে স্পর্শ করাইতে হইবে এবং মিলিমিটার ও বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ লইতে হইবে। এই দ্বিতীয় পাঠ ও প্রথম পাঠের অন্তর হইতে জানা যাইবে স্ক্রু'র প্রান্তটি কতখানি নামান হইয়াছে। মনে করা যাক, ইহার পরিমাণ 'l', পায়াগুলির মধ্যে দূরত্ব 'd' ও radius of curvature 'r' তাহা হইলে প্রমাণ করা যায়,

$$r=\frac{d^2}{6l}+\frac{l}{2}$$

কোনও খুব ছোট ও পাতলা জিনিসের বেধ স্ফেরোমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। প্রথমতঃ কাচের প্লেটের উপর স্ক্রু'র নীচে ঐ জিনিসটি রাখিয়া স্ক্রু ঘুরাইয়া উহার উপরতল স্পর্শ করাইতে হয়। তারপর ঐ জিনিসটি সরাইয়া স্ক্রুটি আরও নামাইয়া কাচের প্লেটটি স্পর্শ করাইতে হয়। এই দ্বিতীয় বারে যতখানি নামাইতে হইবে তাহাই জিনিসটির বেধ।

ঘনফল মাপন

(Measurement of Volume)

17. নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকৃতি বিশিষ্ট কঠিন পদার্থের ঘনফল

নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকৃতি বিশিষ্ট কঠিন পদার্থের ঘনফলের কয়েকটি সূত্র নীচে দেওয়া হইল। ভার্নিয়ার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ক্রু-গজ প্রভৃতির সাহায্যে

দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, উচ্চতা বা বেধ মাপিয়া সূত্রের সাহায্যে ঐ সকল আকৃতি বিশিষ্ট কঠিন পদার্থের ঘনফল নির্ণয় করা যায়।

Fig. 10
গোলক, সিলিণ্ডার ও আয়তাকার ঘন সামান্তরিক

গোলকের (sphere) ঘনফল $= \frac{4}{3} \pi R^3$ [R = ব্যাসার্ধ]

সিলিণ্ডারের (cylinder) ঘনফল $= \pi R^2 h$ [h = উচ্চতা]

আয়তাকার ঘন সামান্তরিকের (rectangular parallelopiped)

ঘনফল $= l \times b \times h$ বা দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা।

পরীক্ষাঃ [Practical class-এ ছাত্রগণ বিভিন্ন মাপের গোলক (যেমন মার্বেল), সিলিণ্ডার (কাঠের বা ধাতুর তৈয়ারী) এবং সমকৌণিক কাঠের ব্লক লইবে এবং প্রত্যেক ছাত্র স্লাইড ক্যালিপার্স বা ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ইত্যাদি মাপিয়া যথানিয়মে পর্যবেক্ষণের ফল পৃথক ভাবে লিপিবদ্ধ করিবে। তারপর ছাত্রগণ উপরোক্ত সূত্রের সাহায্যে ঘনফল নির্ণয় করিবে। ইহাতে ছাত্রগণ ঘনফল নির্ণয় শিখিবার সঙ্গে সঙ্গে মাপিবার যন্ত্রগুলির ব্যবহারে অধিকতর অভ্যস্ত হইবে।]

18. তরল পদার্থের ঘনফল : মাপক সিলিণ্ডার, বুরেট ও পিপেটের ব্যবহার (Volume of a liquid : Use of measuring cylinders, burettes and pipettes)

(A) মাপক সিলিণ্ডারের চিত্রটি দেখ, ইহার গায়ে সমান দূরে দূরে দাগ কাটা আছে এবং কিছু দূরে দূরে 10 c.c., 20 c.c., 30 c.c. এইরূপ লেখা আছে। ডাক্তারখানায় এই রকম দাগকাটা সিলিণ্ডারের সাহায্যে ঔষধ মাপিয়া ঢালা হয়। তবে সাধারণতঃ ঐ সিলিণ্ডারের গায়ে ড্রাম, আউন্স ইত্যাদির দাগ কাটা থাকে। তরল পদার্থের আয়তন বা ঘনফল এই প্রকার সিলিণ্ডারের সাহায্যে সহজে মাপা যায়।

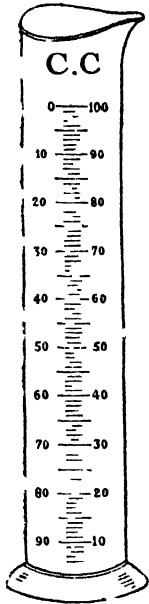



Fig 11
মাপক সিলিণ্ডার

পরীক্ষাগারে ছাত্রগণ ছোট বড় নানারকম মাপক সিলিণ্ডারের সঙ্গে পরিচিত হইবে।

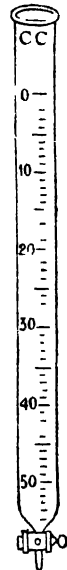
পরীক্ষা : মনে কর, 50 ঘন সেন্টিমিটার জল মাপিতে হইবে। একটি মাপক সিলিণ্ডার লও এবং উহাতে একটি বীকার হইতে ধীরে ধীরে জল ঢালিতে থাক ও জলের লেভেল লক্ষ্য করিতে থাক। যতক্ষণ না জলের লেভেল ঠিক 50 c.c. দাগ স্পর্শ করে ততক্ষণ জল ঢাল। জলের লেভেল 50 c.c দাগ স্পর্শ করিলেই বুঝিবে মাপক সিলিণ্ডারে জলের পরিমাণ হইয়াছে 50 c.c.

(B) **বুরেট :** বুরেট একটি লম্বা কাচের নল। ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ইহাকে উল্লম্ব ভাবে দাঁড় করাইয়া রাখা হয়। ইহার উপরদিক খোলা এবং নীচের দিক সূচলো। সূচলো মুখের একটু উপরে একটি স্টপ কক্ আছে। স্টপ কক্ ঘুরাইয়া নলের মুখ খোলা বা বন্ধ করা যায়। ইহারও গায়ে মাপক সিলিণ্ডারের মত দাগ কাটা আছে এবং সমান দূরে দূরে উপর হইতে আরম্ভ করিয়া ক্রমশঃ নীচের দিকে 10 c.c, 20 c.c., 30 c.c. এইরূপ লেখা আছে। স্টপ কক্ বন্ধ করিয়া

Fig 12
বুরেট

উপরের খোলামুখে তরল পদার্থ ঢালা হয়। স্টপ্ কক্ অল্প খুলিয়া দিলে খুব ধীরে ধীরে নীচের সরুমুখ দিয়া তরল পদার্থ নীচে পড়িবে। কি পরিমাণ পড়িল তাহা বুরেটে তরল পদার্থের লেভেল দেখিলেই বুঝা যায়। ইহার সাহায্যে যতটুকু ইচ্ছা তরল পদার্থ মাপিয়া লওয়া যাইতে পারে।

(C) **পিপেট**ঃ ইহার মাঝখানটা মোটা ও দুইদিকে সরু একটি লম্বা নল। নীচের দিকে সূচলো। উপরের দিকে নলের গায়ে একটি মাত্র দাগ কাটা। চিত্রে দেখ, পিপেটের গায়ে লেখা আছে 20 c.c.। ইহার সূচলো দিক তরল পদার্থের মধ্যে রাখিয়া উপরের দিকে মুখ লাগাইয়া সাবধানে টানিলে তরল পদার্থ নলের মধ্যে উঠিয়া প্রায় মুখ পর্যন্ত আসিবে। এখন বৃদ্ধাঙ্গুলির দ্বারা উপরের মুখ চাপিয়া ধরিলে তরল পদার্থ সূচলো মুখ দিয়া বাহির হইবে না। বৃদ্ধাঙ্গুলি অল্প অল্প করিয়া সরাইয়া প্রয়োজনমত তরল পদার্থ বাহির করা যায়। তরল পদার্থের লেভেল দাগ পর্যন্ত পৌঁছিলে বুঝিতে হইবে পিপেটের মধ্যে তরল পদার্থের পরিমাণ পিপেটের গায়ে অঙ্কিত পরিমাণের সমান।

20 C.C

Fig 13
পিপেট

19. যে-কোনও আকৃতিবিশিষ্ট কঠিন পদার্থের ঘনফল নির্ণয়

পরীক্ষাঃ (A) মাপক সিলিণ্ডারের সাহায্যে—একটি মাপক সিলিণ্ডার লইয়া একটি নির্দিষ্ট দাগ অবধি (প্রায় অর্ধেক) জলে ভর্তি কর এবং জলের লেভেলের পাঠ (reading) লিখিয়া রাখ। মনে কর, এই পাঠ V c.c. এখন যে বস্তুটির ঘনফল মাপিতে হইবে তাহাকে একটি সূতাদ্বারা বাঁধিয়া সিলিণ্ডারের জলের মধ্যে ধীরে ধীরে নামাইয়া দাও। দেখিবে জলের লেভেল খানিকটা উপরে উঠিয়াছে। পুনরায় জলের লেভেলের পাঠ লও।

Fig 14
মাপক সিলিণ্ডারের সাহায্যে কঠিন পদার্থের ঘনফল নির্ণয়

মনে কর, এইবার পাঠ হইল V' c.c সুতরাং বস্তুটির ঘনফল $= V' - V$ c.c. বস্তুটি জলে অদ্রবণীয় এবং জল হইতে ভারী হইলেই এই উপায়ে ঘনফল নির্ণয় করা যায়।

(B) বুরেটের সাহায্যে—একটি বুরেট প্রায় সম্পূর্ণ জলে ভর্তি কর এবং জলের লেভেলের পাঠ লিখিয়া রাখ। বুরেটের নীচে একটি বীকার রাখিয়া স্টপ কক্ খুলিয়া দাও এবং বীকারটি জলে প্রায় ভর্তি কর। বুরেটের মধ্যে জলের লেভেলের পাঠ লইলে বীকারের মধ্যে জলের পরিমাণ (ঘনফল) জানিতে পারিবে। জলের লেভেল অবধি বীকারের গায়ে একটি দাগ দিয়া জল সম্পূর্ণ ফেলিয়া দাও। তারপর কঠিন পদার্থটি বীকারের মধ্যে রাখিয়া পুনরায় বুরেটের স্টপ কক্ খুলিয়া বীকারের গায়ে যে দাগ দিয়াছ সেই অবধি জলে ভর্তি কর। বুরেটের মধ্যে জলের লেভেলের পাঠ হইতে বীকারে কি পরিমাণ জল লওয়া হইয়াছে তাহা জানিতে পারিবে। পূর্বের পরিমাণ হইতে এই পরিমাণ বাদ দিলেই কঠিন বস্তুটির ঘনফল পাওয়া যাইবে।

ভর ও ভার মাপন
(Measurement of mass and weight)

20. তুলাযন্ত্র (Common Balance)

কোনও বস্তুর ভর বা mass মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রের প্রধান অংশগুলির বর্ণনা নীচে দেওয়া হইল।

(1) তুলাদণ্ড (Beam) AB—ইহা একটি চেপ্টা ও ধাতুর তৈয়ারী দণ্ড।

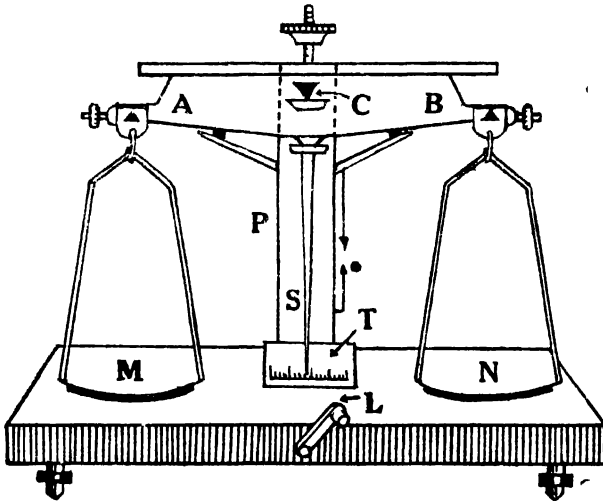



Fig. 15—তুলা

ইহার ঠিক মাঝখানে একটি ত্রিকোণাকৃতি agate বা ইস্পাতের টুকরা লাগান

আছে। এই টুকরাটি এমনভাবে লাগান যে ইহার একটি ধারের (C) উপর তুলাদণ্ডটিকে P স্তম্ভের (Pillar) মাথায় একটি সমতল ইস্পাতের উপর বসান যায় এবং এই অবস্থায় দণ্ডটি ঐ ধারের দুইদিকে দোল খাইতে পারে। এই ধারকে আলম্ব (Fulcrum) এবং CA ও CB অংশ দুইটিকে তুলাযন্ত্রের বাহু বলে।

(2) তুলাপাত্র (Scale pan)—M ও N দুইটি ছোট থালার মত পাত্র তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্ত হইতে দুইটি ধাতুর ফ্রেমের সাহায্যে ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। ইহারাই তুলাপাত্র। এই পাত্রের একটিতে যে বস্তুর ভর মাপিতে হইবে তাহা এবং অন্যটিতে বাটখারা (standard weights) দেওয়া হয়।

(3) সূচক (Pointer)—(S)—ইহা AB দণ্ডের ঠিক মাঝখানে লম্বভাবে সংলগ্ন একটি সরু লম্বা কাঁটা। AB দণ্ডটি যখন দোলে তখন সূচকের নীচের দিকটিও একটি ছোট স্কেলের (T) গা ঘেঁষিয়া দুলিতে থাকে। তুলাদণ্ডটি স্থির ভাবে অনুভূমিক (horizontal) থাকিলে সূচকটি স্কেলের মধ্যস্থলে শূন্য (0) দাগ বরাবর থাকে।

(4) AB দণ্ডটি যে স্তম্ভের উপর বসান থাকে সেই স্তম্ভটি একটি চতুষ্কোণ কাঠের ভূমির উপর লম্বভাবে অবস্থিত। ভূমিটিকে ঠিক অনুভূমিক করিবার জন্য ইহার নীচে দুইটি লেভেলিং স্ক্রু থাকে। ভূমির সম্মুখভাগে একটি লিভার আছে। ইহার হাতল ঘুরাইয়া তুলাপাত্রসুদ্ধ AB দণ্ডটি উঠান বা নামান যায়। উঠান অবস্থায় দণ্ডটি (C) আলম্বের উপর দোল খাইতে পারে কিন্তু নামান থাকিলে পারে না। তুলাপাত্রে বাটখারা বা কোনও জিনিস বসাইবার সময় দণ্ডটি নামাইয়া রাখিতে হয় এবং কেবলমাত্র দুইদিকের সমতা পরীক্ষা করিবার সময় উঠাইয়া দেখিতে হয়। বাতাসের জন্য যাহাতে ওজন করিবার অসুবিধা না হয় সেজন্য সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাচের বাক্সের মত ঢাকনার মধ্যে বসান থাকে।

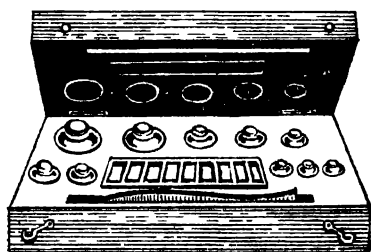



Fig 16—ওজন বাক্স

তুলাদণ্ডটি উঠাইবার পর যদি সূচকটি স্কেলের শূন্য (0) চিহ্নের উপরে থাকে অর্থাৎ তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক থাকে তবে বুঝিতে হইবে তুলাপাত্র দুইটি সমভার-

যুক্ত হইয়াছে। এইরকম যন্ত্রে খুব ভারী এবং বড় জিনিস ওজন করা যায় না। সাধারণতঃ চার পাঁচশ গ্রাম হইতে আরম্ভ করিয়া পাঁচ মিলিগ্রাম অবধি ইহাতে ওজন করা যায়। একটি ওজন বাক্সের (weight box) মধ্যে নির্দিষ্ট ভরের কতকগুলি 'ওজন' পরপর সাজান থাকে। ঐগুলিই বাটখারা হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

21 ভার ও বল নির্ণয়—স্প্রিং-তুলা (Measurement of weight and force—Spring Balance)

কতকগুলি বাটখারা বা 'আদর্শ ভরের' সাহায্যে আমরা কোন বস্তুর ভর নির্ণয় করিতে পারি। সাধারণ ভাষায় ভর নির্ণয় করাকেই ওজন করা বা ভার নির্ণয় করা বলে। কিন্তু 'ভর' ও 'ভার' এক কথা নহে। কোনও বস্তুর উপর পৃথিবীর যে আকর্ষণ তাহাই সেই বস্তুর 'ভার' বা ওজন; অর্থাৎ ভার একটি বল (force)।

স্প্রিং-তুলা নামক যন্ত্রের সাহায্যে পদার্থের ভার মাপা যায়। স্প্রিং-তুলার প্রধান অংশ একটি ইস্পাতের স্প্রিং। রবার যেমন টানিলে লম্বা হয় এবং যত জোরে টানা যায় তত বেশী লম্বা হয়, স্প্রিংও তেমনি টানে লম্বা হয়। খাড়াভাবে ঝুলান একটি স্প্রিং-এর নীচের দিকে কোন বস্তু ঝুলাইয়া দিলে নিজ ভারের জন্য বস্তুটি স্প্রিংটিকে নীচের দিকে টানিবে। ইহার ফলে স্প্রিংটি প্রসারিত হইবে এবং ভার যত বেশী হইবে স্প্রিংটি তত বেশী প্রসারিত হইবে। সুতরাং স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি মাপিয়া 'ভারের' পরিমাপ করা যাইতে পারে। কেবলমাত্র ভার নয়, স্প্রিং-এর দ্বারা উপযুক্ত স্কেলের সাহায্যে যে-কোনও প্রকার 'টান' বা আকর্ষণ বলের পরিমাপ করা যায়।

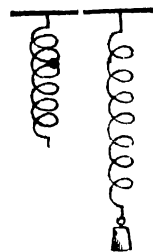



Fig 17
স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি

স্প্রিং-তুলা (Spring balance)

স্প্রিং-তুলার মধ্যে একটি ইস্পাতের স্প্রিং-এর একপ্রান্ত উপরদিকে আটকান থাকে। স্প্রিং-এর নীচের প্রান্তে একটি হুক অথবা হুকের সাহায্যে একটি

পাত্র লাগান থাকে। স্প্রিংটি আংশিকভাবে একটি ধাতুনির্মিত খাপ বা খাঁচার মধ্যে আবৃত থাকে। এই খাপের সম্মুখদিকে একটি লম্বালম্বি ছিদ্র (slot) আছে। এই ছিদ্রের ভিতর দিয়া স্প্রিং-এর সঙ্কোচন প্রসারণ দেখা যায়। যে বস্তুর ভার নির্ণয় করিতে হইবে তাহাকে হুক অথবা পাত্রের সাহায্যে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। স্প্রিং-এর সঙ্গে লম্বভাবে সংলগ্ন একটি কাঁটা (pointer) আছে এবং খাঁচার সম্মুখস্থ ছিদ্রের গায়ে স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল একটি দাগকাটা স্কেল আছে। এই স্কেলের গায়ে কাঁটাটির অবস্থান দেখিয়া ঝুলান বস্তুর ভার সরাসরি জানা যায়। তাড়াতাড়ি ওজন করিবার পক্ষে স্প্রিং-তুলা অত্যন্ত উপযোগী।

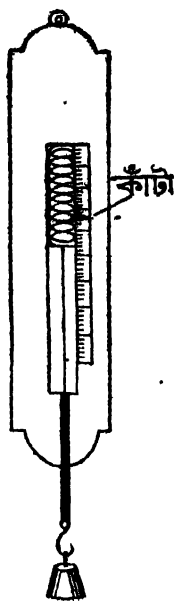



Fig 18 স্প্রিং-তুলা

(স্প্রিং-তুলার স্কেলের অংশাঙ্কন (graduation) প্রণালী স্থিতিস্থাপকতা পরে আলোচিত হইয়াছে)।

22. সাধারণ তুলা ও স্প্রিং-তুলার পার্থক্য (Difference between a common balance and a spring balance)

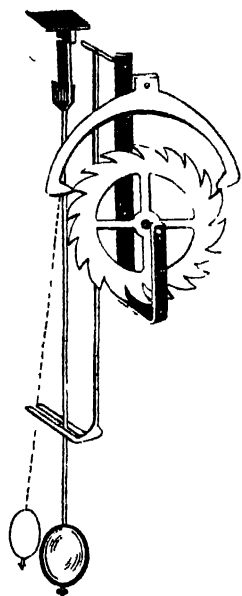
সাধারণ তুলা দ্বারা আমরা পদার্থের 'ভর' মাপি। এই ভর মাপার নীতি হইল সাধারণ তুলার দুইদিকের পাত্র সম'ভার'যুক্ত করা অর্থাৎ ভর মাপা হয় 'ভারের' তুলনা করিয়া। মনে কর সাধারণ তুলার একদিকের তুলাপাত্রে কোনও বস্তু রাখিয়া অপর দিকের তুলাপাত্রে 250 গ্রাম বাটখারা রাখিলে তুলাটি সমভারযুক্ত হয় অর্থাৎ তুলাদণ্ডটি উঠাইবার পর ইহার সংলগ্ন কাঁটা বা সূচকটি শূন্য (0) স্থানে থাকে। এই অবস্থায় বস্তুটির ভার এবং 250 গ্রাম বাটখারার ভার তুলাদণ্ডটিকে বিপরীতদিকে হেলাইতে চায় কিন্তু উভয়দিকের ভার সমান বলিয়া তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক থাকে। এই বস্তুটি যেখানেই লইয়া যাও না কেন, সর্বত্রই ইহা সাধারণ তুলায় 250 গ্রাম বাটখারার সহিত সমভারযুক্ত হইবে।

ধাতুখণ্ডের বা কাচখণ্ডের (যেমন মাইক্রোসকোপের স্লাইড) মধ্যে রাখিয়া একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে চাপিয়া ধরিয়া ভালভাবে ঝুলাইবার ব্যবস্থা করা যায়। ক্ল্যাম্পটি একটি ভারী মোটা স্ট্যাণ্ডের সঙ্গে আটকাইতে হইবে।

27. দোলক ঘড়ি

বিলম্ব বিন্দুতে যদি ঘর্ষণ না থাকিত এবং বায়ুর বাধা না থাকিত তবে সরল দোলক একবার দোলাইয়া দিলে অনবরত দুলিতেই থাকিত। ঘর্ষণ এবং বায়ুর বাধার ফলে বিস্তার ক্রমশঃ কমিয়া আসে এবং অবশেষে থামিয়া যায়।

Fig 22—দোলক ঘড়ি

দোলক ঘড়ির দোলক সরল দোলক নয়। দোলকের বিস্তার এবং দোলনকাল যাহাতে অপরিবর্তিত থাকে সেজন্য একটি সুন্দর ব্যবস্থা আছে। এই ব্যবস্থার প্রধান অঙ্গ হইল—একটি খাঁজকাটা চাকা (escapement) এবং স্প্রিং। এই স্প্রিংয়ের শক্তিতে খাঁজকাটা চাকাটি ধীরে ধীরে ঘোরে। দোলকটি একটি নঙ্গরের (anchor) মত জিনিস ও কাঁটার (fork) সাহায্যে চাকার সঙ্গে সংলগ্ন থাকে। (22নং চিত্র দেখ) দোলকের একবার স্পন্দনের সঙ্গে সঙ্গে নঙ্গরটি চাকার একটি খাঁজ হইতে পরের খাঁজে গিয়া আটকায়। যতক্ষণ স্প্রিংয়ে শক্তি থাকে ততক্ষণ সমগতিতে এইরূপ হইতে থাকে এবং দোলকও দুলিতে থাকে।

কোণ মাপন প্রণালী

প্রট্রেক্টার এবং কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে আমরা কোণ মাপিয়া থাকি।

28. প্রট্রেক্টারের সাহায্যে

প্রট্রেক্টার একটি অর্ধবৃত্তাকার ধাতব বা সেল্লুলয়েডের পাত। ইহার বক্রদিক ACB 0° হইতে 180° ডিগ্রী পর্যন্ত বিভক্ত। সরল পার্শ্ব AB'র

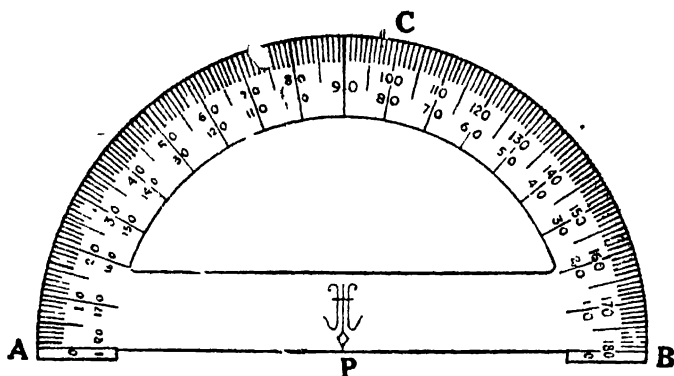



Fig 23—প্রট্রেক্টার

মধ্যবিন্দু P। ইহার দ্বারা কোণ মাপা যায় এবং নির্দিষ্ট মাপের কোণ অঙ্কন করা যায়।

কোণ মাপন

প্রট্রেক্টারটির P দাগ যে কোণ মাপিবে তাহার শীর্ষ বিন্দুতে স্থাপন করিয়া PB পার্শ্বকে কোণের একটি বাহুর সহিত মিলাইয়া লও। এই অবস্থায় কোণটির অন্য বাহু (যদি প্রয়োজন হয়, বাহুটিকে বর্ধিত করিতে পার) ACB দিকের যে ডিগ্রী চিহ্নের সহিত মিলিবে কোণটির পরিমাণ তত হইবে। অন্ততঃ তিনবার প্রট্রেক্টারটি বসাইয়া কোণটির পরিমাণ বাহির করিয়া গড় লইবে।

কোণ সৃষ্টিকরণ

পেন্সিল দিয়া কাগজের উপর একটি সরল রেখা আঁক এবং ইহার উপর একটি বিন্দু O লও। প্রট্রেক্টারটির P বিন্দু এই বিন্দুর সহিত এবং ইহার AB ধারকে সরলরেখার সহিত মিলাইয়া লও। যে পরিমাণ ডিগ্রীর কোণ আঁকিতে চাও তাহা ACB'র উপর পাঠ করিয়া সেই পাঠের নিকট একটি বিন্দু বসাও। এখন

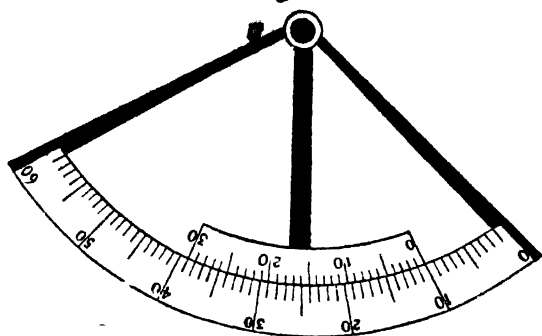
প্রট্রেক্টার সরাইয়া O বিন্দু এবং শেষোক্ত বিন্দু যোগ কর। দুইটি বাহুর মধ্যে যে কোণ সৃষ্টি হইল তাহাই উদ্দিষ্ট কোণ হইবে।

29. কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে

কৌণিক ভার্নিয়ার একটি বৃত্তাকার স্কেলের অংশ। ইহা ডিগ্রী এবং ইহার ভগ্নাংশে বিভক্ত। ইহাই মূল-স্কেল। ইহার সঙ্গে ভার্নিয়ার স্কেলটি মূল স্কেলের পাশে যাওয়া আসা করে।

প্রথমতঃ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক বাহির কর। ভার্নিয়ারটিকে মূল স্কেলের বিভিন্ন স্থানে ঘুরাইয়া সরল ভার্নিয়ারের ন্যায় মূল স্কেল এবং ভার্নিয়ার স্কেলের

Fig 24—কৌণিক ভার্নিয়ার

পাঠ লও। নিম্নে প্রদত্ত ছকের মত একটি ছকে পাঠগুলি লিপিবদ্ধ করিবে।

উদাহরণ ঃ

একটি মূল স্কেলের অংশ $= \frac{1}{2}°$;

30টি ভার্নিয়ার অংশ $=$ 29 মূল স্কেল অংশ

$\therefore$ ভার্নিয়ার ধ্রুবক $= \frac{1}{30}$ স্কেল অংশ $= 1'$ মিনিট

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ	ভার্নিয়ার স্কেল	সম্পূর্ণ পাঠ
1	20	36	20°36′
2	—	—	—
3	—	—	—

Worked out examples

1. একটি যন্ত্রে মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ $\frac{1}{10}$ সে. মি. এবং ভার্নিয়ারের 20 অংশ মূল স্কেলের 19 অংশের সমান। যন্ত্রটির ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় কর।

ভার্নিয়ারের 20 অংশ = মূল স্কেলের 19 ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ ভার্নিয়ারের 1 অংশ = মূল স্কেলের $\frac{19}{20}$ ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = মূল স্কেলের 1 ক্ষুদ্রতম অংশ − ভার্নিয়ারের 1 অংশ

= মূল স্কেলের 1 ক্ষুদ্রতম অংশ − মূল স্কেলের $\frac{19}{20}$ ক্ষুদ্রতম অংশ

= মূল স্কেলের $(1-\frac{19}{20})$ বা $\frac{1}{20}$ ক্ষুদ্রতম অংশ

$=\frac{1}{20}\times\frac{1}{10}$ সে. মি.

$=\frac{1}{200}$ সে. মি. = ·005 সে. মি.

2. মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশ $\frac{1}{10}$ সে. মি., ভার্নিয়ারের 10 অংশ মূল স্কেলের 9 অংশের সমান। কোনও দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিবার সময় দেখা গেল মূল স্কেলের পাঠ 1·5 সে. মি. এবং ভার্নিয়ারের 3 সংখ্যক অংশনাঙ্ক মূল স্কেলের কোনও অংশনাঙ্কের সহিত মিলিয়া যায়। দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত?

এক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের 10 অংশ = মূল স্কেলের 9 ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ „ 1 „ = „ $\frac{9}{10}$ ক্ষুদ্রতম অংশ

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = মূল স্কেলের $(1-\frac{9}{10})$ বা $\frac{1}{10}$ অংশ

= ·01 সে. মি.

∴ দণ্ডের দৈর্ঘ্য = 1·5 + ·01 × 3 সে. মি.

= 1·53 সে. মি.

3. স্ক্রু-গজের সাহায্যে একটি তারের ব্যাস মাপিতে গিয়া নিম্নলিখিত মাপগুলি পাওয়া গেল। তারের ব্যাস নির্ণয় কর।

স্ক্রুর পীচ্ = ·5 মি. মি.

বৃত্তাকার স্কেলের অংশাঙ্কন সংখ্যা = 50

প্রাথমিক পাঠ—রৈখিক স্কেল— 0

বৃত্তাকার স্কেল— 2

দ্বিতীয় পাঠ—রৈখিক স্কেল— 1 মি. মি.

বৃত্তাকার স্কেল—25

এক্ষেত্রে নিম্নতম ধ্রুবক (least count)= $\frac{\cdot 5}{50}$ মি. মি = ·01 মি. মি.

যান্ত্রিক ভুল = +2×·01=·02 মি. মি.

∴ তারের ব্যাস = (1+25×·01) মি. মি.—·02 মি. মি.

= 1·25—·02 মি. মি.

= 1·23 মি. মি.

*4. কোনও স্থানে সরল দোলক লইয়া একটি পরীক্ষায় নিম্নলিখিত মাপগুলি পাওয়া গেল। ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের মান নির্ণয় কর।

সুতার দৈর্ঘ্য = 100·3 সে মি.

দোলকপিণ্ডের ব্যাসার্ধ = ·9 সে. মি.

25 বার সম্পূর্ণ দোলনের সময় = 50·5 সেকেণ্ড

দোলকের প্রকৃত দৈর্ঘ্য L =(100·3+·9) সে মি.

=101·2 সে. মি.

ইহার দোলনকাল T = $\frac{50\cdot 5}{25}$=2·02 সেকেণ্ড

∴ T^2=4·08

অতএব অভিকর্ষজ ত্বরণ $g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$

$=4\times 9\cdot 87\times \frac{101\cdot 2}{4\cdot 08}$ সে.মি /প্রতি সেকেণ্ড^2

=979·2 সে. মি./প্রতি সেকেণ্ড^2

*5. কোনও স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 সে. মি./প্রতি সেকেণ্ড^2। ঐ স্থানে সেকেণ্ড পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য কত ?

*(যে দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড তাহাকে সেকেণ্ড দোলক বা সেকেণ্ড পেণ্ডুলাম বলে)

$L=\frac{g.T^2}{4\pi^2}=\frac{980\times 2^2}{4\times 9\cdot 87}$=99·26 সে. মি।

ত্বরণ কাহাকে বলে তৃতীয় অধ্যায়ে বুঝান হইয়াছে।

অনুশীলনী

1. Describe briefly a vernier instrument. What is the vernier constant ? Is it a pure number ?

   একটি ভার্নিয়ার যন্ত্র সংক্ষেপে বর্ণনা কর। ভার্নিয়ার ধ্রুবক কাহাকে বলে ? ইহা কি একটি সংখ্যা মাত্র, না ইহা প্রকাশ করিতে কোন এককের প্রয়োজন হয় ?

2 What is the instrumental error in a vernier scale ? How is it determined and corrected for ?

   ভার্নিয়ার স্কেলের যান্ত্রিক ভুল বলিতে কি বোঝ ? এই ভুলের পরিমাণ কি করিয়া বাহির করা হয় ?

3. Find the vernier constant in the following cases :—

   নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ভার্নিয়ার ধ্রুবক বাহির কর :—

   (a) The smallest division of a scale is $\frac{1}{10}$th of a centimetre and 10 divisions of the vernier scale are equal to 9 divisions of the main scale.

   (ক) একটি স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ 1 সেন্টিমিটারের 10 ভাগের 1 ভাগ এবং ভার্নিয়ারের 10 ভাগ মূল স্কেলের 9 ভাগের সমান।

   (b) 25 divisions of the vernier are equal to 24 divisions of the main scale.

   (খ) মূল স্কেলের 24 ভাগ ভার্নিয়ারের 25 ভাগের সমান।

   (c) 8 divisions of the vernier scale are equal to 7 smallest divisions of the main scale, each division being equal to $\frac{1}{16}$th of an inch.

   (গ) মূল স্কেলের এক ইঞ্চিকে 16 ভাগ করিলে তাহার 7 ভাগের সহিত ভার্নিয়ারের 8 ভাগ সমান হয়।

   (d) 4 divisions of the vernier scale are equal to 3 divisions of an inch divided into 16 equal parts.

   (ঘ) এক ইঞ্চিকে 16 ভাগ করিলে তাহার 3 ভাগ ভার্নিয়ারের 4 ভাগের সমান হয়।

4 Give a brief description of the slide-callipers and state how you will make the following measurements :—

   (a) Internal diameter of a ring, (b) the volume of a sphere, and (c) the volume of a cylinder.

   একটি স্লাইড কেলিপার্স বর্ণনা করিয়া ইহার দ্বারা কিরূপে নিম্নলিখিত দ্রব্যগুলি মাপিবে তাহা লিখ :—

   (ক) একটি আংটির অন্তর্ব্যাস, (খ) একটি গোলকের আয়তন এবং (গ) একটি বেলনের আয়তন।

5. Describe a screw-gauge. Explain the terms least count, pitch and instrumental error in connection with it

Describe how you will determine the diameter and the area of cross-section of a wire with the help of a screw-gauge.

একটি স্ক্রু-গজ বর্ণনা কর। ইহার নিম্নতম ধ্রুবক, পীচ্ এবং শূন্য ভুল সম্পর্কে যাহা জান লিখ।

একটি তারের ব্যাস এবং ইহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল কি করিয়া এই যন্ত্রের সাহায্যে বাহির করিবে লিখ।

6. What is the principle of a spherometer ? What is its difference with a screw-gauge ? What is meant by the least count of a spherometer ?

স্ফেরোমিটার যন্ত্রের মূলনীতি কি ? ইহার সহিত স্ক্রু-গজের পার্থক্য কোথায় ? স্ফেরোমিটারের নিম্নতম ধ্রুবক বলিতে কি বোঝ ?

7. Describe a common balance and state its essential requisites.

একটি সাধারণ তুলাদণ্ড বর্ণনা করিয়া ইহার প্রয়োজনীয় গুণগুলি লিখ।

8. Describe a spring-balance and state its use.

একটি স্প্রিং-তুলার গঠন ও ব্যবহার বর্ণনা কর।

9. Distinguish between weight and mass of a body. How can you show that the weight of a body is a variable quantity ?

ভার ও ভরের মধ্যে পার্থক্য কি ? কোনও পদার্থের ভার যে উহার একটি স্থির ধর্ম নহে তাহা কি করিয়া প্রমাণ করিবে ?

10. Write short notes on the following :—

Vernier constant, zero error, parallax error, eye-estimation.

নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :—

ভার্নিয়ার ধ্রুবক, শূন্য ভুল, পেরালাক্সজনিত ভুল, দৃষ্টি নিরূপণ।

11. Describe a simple pendulum and state its laws. Explain the meaning of following terms—

Period, amplitude, length of the pendulum.

একটি সাধারণ দোলক বর্ণনা কর এবং এই সম্পর্কে নিম্নলিখিত বিষয়গুলির সংজ্ঞা লিখ :—

দোলনকাল, বিস্তার, দোলকদৈর্ঘ্য।

তৃতীয় অধ্যায়

বলবিজ্ঞান

(Mechanics)

বল এবং গতি সম্পর্কীয় সাধারণ জ্ঞাতব্য বিষয় (General ideas about motion and force)

1. সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখাতে পদার্থের গতি এবং গতির কারণ বিষয়ক বিভিন্ন তথ্যের আলোচনা হয় তাহাকে **বলবিজ্ঞান** বলে। গ্যালিলিওকে বলবিজ্ঞানের জন্মদাতা বলা যায়। শুধু বলবিজ্ঞান নহে, গ্যালিলিওকে আধুনিক বিজ্ঞানেরই জন্মদাতা বলা হয়। ইহার কারণ তিনিই সর্বপ্রথম বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে আধুনিক পদ্ধতিতে পরীক্ষার সূত্রপাত করেন। তিনি পদার্থের গতি সম্বন্ধে বহু পরীক্ষা করেন এবং ঐ সকল পরীক্ষাকে ভিত্তি করিয়া গতিবিজ্ঞানের কতকগুলি মূলসূত্র আবিষ্কার করেন।

গ্যালিলিও ১৫৬৪ খ্রীষ্টাব্দে ইটালীদেশে জন্মগ্রহণ করেন এবং ১৬৪২ খ্রীষ্টাব্দে মারা যান। এই শেষোক্ত বৎসরেই ইংলণ্ডে নিউটন জন্মগ্রহণ করেন। তিনি বহু পরীক্ষা দ্বারা গ্যালিলিওর আবিষ্কৃত সূত্রগুলিকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেন এবং বলবিজ্ঞানের তিনটি মূলসূত্রের সুসংবদ্ধরূপ দান করেন। এই সূত্র তিনটি নিউটনের প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্র নামে খ্যাত। বল ও গতির সম্বন্ধ নির্ণয়ে ঐ সূত্রগুলি অপরিহার্য।

2. গতি সম্পর্কীয় কতিপয় সংজ্ঞা

(1) **দ্রুতি (speed)**—কোনও কিছু—যেমন মোটরগাড়ি, রেলগাড়ি বা এরোপ্লেন—যখন চলিতে থাকে তখন উহার সম্বন্ধে আমাদের মনে প্রথম যে প্রশ্ন জাগে তাহা হইল উহার গতির হার, অর্থাৎ উহা সেকেণ্ডে বা মিনিটে বা ঘণ্টায় কতখানি পথ অতিক্রম করে। গতির এই হারকে বলে দ্রুতি। আমরা যদি বলি মোটরটির দ্রুতি ঘণ্টায় 40 মাইল, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে মোটরটি যেভাবে

চলিতেছে সেই ভাবে চলিতে থাকিলে উহা এক ঘণ্টায় 40 মাইল পথ অতিক্রম করিবে—তা সোজা পথেই হউক বা বাঁকা পথেই হউক।

মোটরগাড়ি যদি বরাবর একই দ্রুতিতে চলিতে থাকে অর্থাৎ সমান সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম করে তাহা হইলে উহার দ্রুতিকে **সমদ্রুতি** (uniform speed) বলে। অন্যথায় মোটরগাড়ির দ্রুতিকে **অসমদ্রুতি** (variable speed) বলে। দ্রুতির দ্বারা কোনও নির্দিষ্ট দিকে গতি বুঝায় না।

(2) **সরণ (displacement)**—কোনও বস্তুর নির্দিষ্ট দিকে স্থানচ্যুতির পরিমাণকে **সরণ** বলে। সুতরাং সরণের দিক্‌ও আছে এবং পরিমাণও (magnitude) আছে। বস্তুটির প্রাথমিক এবং অন্তিম অবস্থানের সংযোজক সরলরেখার দৈর্ঘ্য সরণের পরিমাণ। মনে কর একটি বস্তু A বিন্দুতে আছে। কিছু সময় পরে উহা ACB পথ ঘুরিয়া B বিন্দুতে উপস্থিত হইল। ঐ সময়ে বস্তুটির সরণের পরিমাণ হইল AB রেখার দৈর্ঘ্য এবং সরণের দিক্ হইল AB (চিত্রে →চিহ্ন দ্বারা দেখান হইয়াছে)।

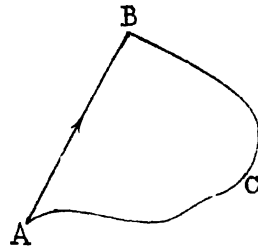



Fig 25

(3) **বেগ (velocity)**—মোটরটি ঘণ্টায় 40 মাইল দ্রুতিতে চলিতেছে বলিলে মোটরটি এক ঘণ্টায় কতটা পথ অতিক্রম করে তাহা বুঝা যায়, কিন্তু উহা কোন্‌দিকে যাইতেছে সে সম্বন্ধে কোনও ধারণা হয় না। দিক্ নির্দেশ করিতে হইলে বলিতে হইবে মোটরটি ঘণ্টায় 40 মাইল দ্রুতিতে উত্তর বা পূর্ব বা অন্যদিকে চলিতেছে। ইহা হইল মোটরটির **বেগ**। অর্থাৎ কোনও নির্দিষ্ট দিকে দ্রুতিকেই বলে **বেগ**। যেহেতু কোনও নির্দিষ্ট দিকে স্থানচ্যুতিকে **সরণ** বলে। আমরা বেগের অন্য একটি সংজ্ঞাও দিতে পারি, যথা—**সরণের হারকে বেগ বলে**।

কোনও বস্তু যদি সমদ্রুতিতে একই দিকে চলিতে থাকে তবে বলা হয় বস্তুটি **সমবেগে** (uniform velocity) চলিতেছে। চলিতে চলিতে যদি বস্তুটির দিক্ বা দ্রুতি বা উভয়েরই পরিবর্তন হয়, তাহা হইলে বলা হয় বস্তুটি **অসমবেগে**

(variable velocity) চলিতেছে। যেমন, কোনও সাইকেল আরোহী যদি ঘণ্টায় 15 মাইল দ্রুতিতে বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে আমরা বলিব সে সমদ্রুতিতে কিন্তু অসমবেগে চলিতেছে। অসমবেগ বলিলে দিক্ বা দ্রুতি বা উভয়েরই পরিবর্তন বুঝায়।

(4) **ত্বরণ** (**acceleration**)—বেগের পরিবর্তনের হারকে ত্বরণ বলে। মনে কর, একটি রেলগাড়ি যখন স্টেশনের প্ল্যাটফর্ম ছাড়িল তখন উহার বেগ ঘণ্টায় 10 মাইল। ঐ বেগ ক্রমশ বৃদ্ধি পাইয়া 15 মিনিট পরে হইল ঘণ্টায় 20 মাইল। সুতরাং গাড়ির বেগের পরিবর্তনের হার হইল 15 মিনিটে ঘণ্টায় 10 মাইল অথবা প্রতিঘণ্টায় ঘণ্টায় 40 মাইল। যদি প্রতিক্ষণ বেগের পরিবর্তন একই হারে হইতে থাকে তাহা হইলে ত্বরণকে বলে **সমত্বরণ** (uniform acceleration)। আর যদি এই পরিবর্তন একই হারে না হয় তাহা হইলে ত্বরণকে বলে **অসমত্বরণ**।

বৃত্তাকার পথে কোনও বস্তুর সমদ্রুতিতে চলা সমত্বরণের দৃষ্টান্ত। এক্ষেত্রে প্রতিক্ষণে একই হারে দিকের পরিবর্তন হইতেছে। সাধারণতঃ ত্বরণ কথাটি ব্যবহৃত হয় বেগের বৃদ্ধির হার বুঝাইতে।

(5) **মন্দন** (**retardation**)—অনেক সময় গতিবেগের হার বৃদ্ধি না পাইয়া হ্রাস পাইতে থাকে। যেমন, মোটরগাড়ি বা রেলগাড়ির ব্রেক কষিলে বেগ কমিতে থাকে এবং অবশেষে গাড়ি থামিয়া যায়। বেগের হ্রাসের হারকে **মন্দন** বলে—ইহা যেন ত্বরণের বিপরীত। 'মন্দন'কে আমরা বলিতে পারি ঋণত্বরণ (negative acceleration)।

(6) **যে-কোনও মুহূর্তে বেগ** (**velocity at any instant**)—কোনও পদার্থ অসমবেগে চলিতে থাকিলে উহার 'যে-কোনও মুহূর্তে বেগ' উল্লেখ করিবার প্রয়োজন হয়। "এই মুহূর্তে মোটরগাড়ির বেগ ঘণ্টায় 40 মাইল" বলিলে এই বুঝায় যে যদি বেগ অপরিবর্তিত থাকে তাহা হইলে মোটরগাড়ি একই দিকে এক ঘণ্টায় 40 মাইল পথ অতিক্রম করিবে।

3. দ্রুতি, বেগ ও ত্বরণের একক

(1) **দ্রুতি ও বেগ**—দ্রুতি ও বেগ একই এককে প্রকাশিত হয়। কোনও বস্তু একক সময়ে একক দূরত্ব অতিক্রম করিলে উহার দ্রুতি বা বেগকে একক দ্রুতি অথবা একক বেগ বলা হয়।

সি. জি. এস. পদ্ধতি—সি জি. এস. পদ্ধতিতে দ্রুতির একক প্রতি সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার। এইভাবে লেখা হয়—এক সে. মি./সেকেণ্ড (1 cm/sec.)।

এফ্. পি. এস. পদ্ধতি—এফ্. পি. এস. পদ্ধতিতে দ্রুতির একক প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট। ইহাকে এইভাবে লেখা হয়— একফুট/সেকেণ্ড (1 ft/sec)।

(2) **ত্বরণ**—একক সময়ে একক পরিমাণ বেগের পরিবর্তন হইলে ত্বরণকে একক ত্বরণ বলা হয়।

সি. জি. এস. পদ্ধতি—সি জি এস. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক প্রতি সেকেণ্ডে সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার। ইহাকে লেখা হয় এইভাবে—এক সে. মি./সেকেণ্ড^2 (1 cm/sec^2) অথবা এক সে. মি. প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে।

এফ্. পি. এস. পদ্ধতি—এফ্ পি. এস. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক প্রতি সেকেণ্ডে সেকেণ্ডে এক ফুট বা এক ফুট/সেকেণ্ড^2 (1 ft/sec^2)।

4. গতি সম্পর্কীয় মৌলিক সমীকরণসমূহ (Fundamental equations of motion)

কোনও চলমান বস্তু সম বা অসমবেগে চলিতে চলিতে নির্দিষ্ট সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা নির্ভর করে বস্তুর প্রাথমিক (initial) বেগ, ত্বরণ এবং সময়ের উপর। বস্তুটির যে-কোনও মুহূর্তে বেগ বা অন্তিম (final) বেগও নির্ভর করে এই তিনটি রাশির উপর। এই রাশিগুলির পরস্পরের সহিত সম্পর্ক কয়েকটি সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাইতে পারে। এইরূপ কয়েকটি সমীকরণ সম্বন্ধে আমরা আলোচনা করিব।

(1) $S = ut$.

কোনও বস্তু 'u' একক সমবেগে চলিয়া 't' একক সময়ে যদি 's' দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে s, u এবং t এর মধ্যে সম্পর্ক উপরোক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত করা যায়। কারণ,

এক একক সময়ে বস্তুটি u একক দূরত্ব অতিক্রম করে,
∴ দুই একক সময়ে বস্তুটি $2u$ একক দূরত্ব অতিক্রম করে,
এবং তিন একক সময়ে বস্তুটি $3u$ একক দূরত্ব অতিক্রম করে।
তদ্রূপ t একক সময়ে বস্তুটি ut একক দূরত্ব অতিক্রম করে;

অর্থাৎ $s = ut \cdots (1)$

s, u এবং t এর যে-কোনও দুইটি রাশি জানা থাকিলে তৃতীয় রাশি এই সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

(2) $v = u + ft$.

কোনও বস্তু প্রাথমিক (initial) বেগ u একক লইয়া 'f' একক ত্বরণের সহিত যাত্রা করিলে যদি 't' একক সময় পরে উহার অন্তিম (final) বেগ 'v' একক হয়, v, u, f এবং t এর মধ্যে সম্পর্ক উপরোক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়।

কারণ,

	বস্তুটির প্রাথমিক বেগ	$= u$ একক
$\therefore$	এক একক সময় পরে বেগ	$= u + f$ একক,
	দুই ,, ,, ,, ,,	$= u + 2f$ একক,
	t ,, ,, ,, ,,	$= u + ft$ একক

অর্থাৎ $v = u + ft \cdots (2)$

'f' যদি ত্বরণ না হইয়া মন্দন হয় অর্থাৎ প্রাথমিক বেগের বিপরীত দিকে যদি ত্বরণ হয় তাহা হইলে (2) সমীকরণে f-এর স্থলে $-f$ বসিবে এবং সমীকরণটি হইবে

$$v = u - ft \cdots (2a)$$

(3) $S = ut + \frac{1}{2}ft^2$.

এই সমীকরণ দ্বারা s, u, f এবং 't' এর মধ্যে সম্বন্ধ প্রকাশিত হয়। নিম্নলিখিত উপায়ে আমরা এই সমীকরণটি নির্ণয় করিতে পারি।

প্রথমে 't' একক সময়ে বস্তুটির গড় বেগ (average velocity) নির্ণয় করিতে হইবে।

বস্তুটির প্রাথমিক বেগ $= u$ একক

't' একক সময়ান্তে বেগ $= v$,,

যেহেতু বস্তুটির ত্বরণ সম (uniform) অর্থাৎ বেগ সমহারে বৃদ্ধি পায়

সুতরাং 't' একক সময়ে উহার গড় বেগ $= \frac{1}{2}(u + v)$

$$= \frac{1}{2}(u + u + ft)$$
$$= u + \frac{1}{2}ft.$$

আমরা মনে করিতে পারি যে বস্তুটি u প্রাথমিক বেগ ও f ত্বরণ লইয়া যাত্রা শুরু করিয়া 't' সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের গড় বেগের সমান সমবেগে চলিয়া যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহার সমান—

$$\text{অর্থাৎ } S = \text{'}t\text{' সময়ে গড় গতিবেগ} \times t$$
$$= (u + \tfrac{1}{2} ft) \times t$$
$$= ut + \tfrac{1}{2} ft^2 \cdots (3)$$

'f' যদি মন্দন হয় তাহা হইলে

$S = ut - \frac{1}{2} ft^2 \cdots (3a)$

4) $v^2 = u^2 + 2fs.$

ত্বরান্বিত গতি সম্পর্কে আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণ দুইটি পাইয়াছি—

$$v = u + ft \cdots (2)$$
$$S = ut + \tfrac{1}{2} ft^2 \cdots (3)$$

(2) সমীকরণের বর্গ করিলে

$$v^2 = u^2 + 2uft + f^2t^2$$
$$= u^2 + 2f\,(ut + \tfrac{1}{2} ft^2)$$
$$= u^2 + 2fs \cdots (4)$$
$$(\because\ S = ut + \tfrac{1}{2} ft^2)$$

v, u, f এবং S এই চারিটি রাশির মধ্যে সম্বন্ধ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(5) $S = u + \frac{1}{2} f\,(2n - 1)$. কোনও নির্দিষ্ট 'সেকেণ্ডে' কোনও বস্তু কতখানি পথ অতিক্রম করে তাহা এই সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

মনে কর, একটি বস্তু u প্রাথমিক গতি, f ত্বরণ লইয়া যাত্রা শুরু করিল। n-তম সেকেণ্ডে উহা কতখানি দূরত্ব অতিক্রম করিবে ?

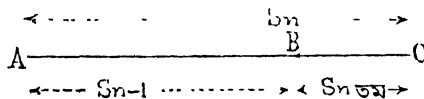



Fig 26

ধরা যাক বস্তুটি n-1 সেকেণ্ডে AB দূরত্ব ($= Sn\text{-}1$) এবং n-সেকেণ্ডে AC দূরত্ব ($= Sn$) অতিক্রম করে। স্পষ্টই দেখা যায়, বস্তুটি n-তম সেকেণ্ডে BC দূরত্ব ($= Sn$ তম) অতিক্রম করে।

$$BC = AC - AB$$

বা S_n-তম $= S_n - S_{n-1}$

অর্থাৎ n-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$= n$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $-(n-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$= (un + \tfrac{1}{2} fn^2) - \{u(n-1) + \tfrac{1}{2} f (n-1)^2\}$$

$$= (un + \tfrac{1}{2} fn^2) - \{un - u + \tfrac{1}{2} f (n^2 - 2n + 1)\}$$

$$= u + fn - \tfrac{1}{2} f$$

$$= u + f (n - \tfrac{1}{2})$$

$$= u + \tfrac{1}{2} f (2n - 1)$$

5. গতি সম্পর্কীয় রাশিগুলির পরস্পর সম্বন্ধ লেখচিত্রে প্রদর্শন

পরস্পর সম্বন্ধযুক্ত দুইটি রাশির সম্বন্ধ লেখচিত্রের সাহায্যে সুন্দর-ভাবে দেখান যায়। তোমরা বীজগণিতে শিখিয়াছ কিভাবে y এবং x দুইটি পরস্পর সম্বন্ধযুক্ত রাশির সম্বন্ধ যে সমীকরণ দ্বারা ব্যক্ত করা হয় তাহার লেখ অঙ্কিত করা যায়। গতি সম্পর্কীয় রাশিগুলির সম্বন্ধ কিভাবে লেখচিত্রের সাহায্যে দেখান যায় কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে আমরা তাহা আলোচনা করিব।

(1) দ্রুতি-সময় লেখচিত্র (Speed-time graph)

27নং চিত্রে একটি দ্রুতি-সময় লেখ অঙ্কিত হইয়াছে। ইহাতে x-অক্ষ বরাবর সময় এবং y-অক্ষ বরাবর দ্রুতি চিহ্নিত করা হইয়াছে। ইহা হইতে দেখা যায় প্রাথমিক দ্রুতি সেকেণ্ডে 3 সে. মি., 2 সেকেণ্ড পরে দ্রুতি বাড়িয়া সেকেণ্ডে প্রায় 5 সে. মি. হইয়াছে। তারপরে দ্রুতি আবার হ্রাস পাইয়া 4 সেকেণ্ড পরে হইয়াছে সেকেণ্ডে 4 সে. মি.। সময়ের সঙ্গে কিভাবে দ্রুতির হ্রাসবৃদ্ধি হইতেছে তাহা লেখচিত্রে পরিষ্কার বুঝা যায়। এখানে অনিয়মিতভাবে দ্রুতির হ্রাসবৃদ্ধি হইতেছে।

Fig. 27

28নং চিত্র দেখ। ইহাও একটি দ্রুতি-সময় লেখচিত্র।

এক্ষেত্রে লেখটি সময়-অক্ষের সমান্তরাল অর্থাৎ সময়ের পরিবর্তনে দ্রুতির পরিবর্তন হয় নাই অর্থাৎ এই সময়ে দ্রুতি সম (uniform) ছিল। 't' সময় পরে দ্রুতি B বিন্দু দ্বারা নির্দিষ্ট হইয়াছে। B হইতে x-অক্ষের উপর লম্ব টানা হইয়াছে। OABC একটি আয়তক্ষেত্র। ইহার ক্ষেত্রফল = ut একক।

Fig 28

আবার t সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব = ut একক; সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে দ্রুতি সময় লেখচিত্রে নির্দিষ্ট সময় অন্তে সময় এবং দ্রুতির স্থানাঙ্ক দ্বারা যে ক্ষেত্র অন্তর্গত হয় তাহার পরিমাণ ঐ সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্বের সমান।

কেবলমাত্র সমদ্রুতির ক্ষেত্রে নহে—ইহা যে অসমদ্রুতির ক্ষেত্রেও সত্য তাহা প্রমাণ করা যায়।

(2) **সম-ত্বরান্বিত বস্তুর বেগ-সময় লেখচিত্র (Velocity-time graph of a uniformly accelerated body)**

29নং চিত্রে একটি সম-ত্বরান্বিত বস্তুর বেগ-সময় লেখচিত্র অঙ্কিত হইয়াছে। BE লেখটি হইতে বেগের বৃদ্ধির হার সম্বন্ধে পরিষ্কার ধারণা করা যায়।

Fig 29

বস্তুটির প্রাথমিক বেগ = u

অর্থাৎ যখন t = o, বেগ = u

∴ B বিন্দুর স্থানাঙ্ক o, u.

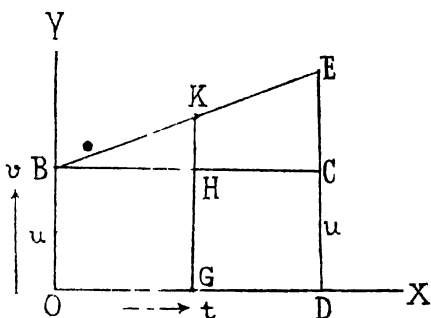
't' সময় অন্তে বস্তুটির বেগ,

$$v = u + ft.$$

অর্থাৎ যখন সময় t, বেগ

$$= u + ft.$$

∴ E বিন্দুর স্থানাঙ্ক t, u + ft

B এবং E এর সংযোজক সরলরেখাই বস্তুটির বেগ-সময় লেখ।

t-অক্ষের উপর ED লম্ব এবং ED'র উপর BC লম্ব টানা হইয়াছে।

∴ CD = OB = u এবং EC = ft

এই চিত্র হইতে দেখান যায় যে 't' সময়ে বস্তুটি যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহার পরিমাণ OBED চতুর্ভুজের ক্ষেত্রফলের পরিমাণের সমান।

কারণ,

OBED চতুর্ভুজের ক্ষেত্রফল

$= OBCD$ আয়তক্ষেত্র $+ BCE$ ত্রিভুজ।

$= OB \times OD + \frac{1}{2} BC \times EC$

$= ut + \frac{1}{2} t \times ft$

$= ut + \frac{1}{2} ft^2$

$= t$ সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব।

চিত্র হইতে আরও দেখান যায় যে $\frac{t}{2}$ সময় পরে বস্তুটির যে গতিবেগ তাহাই 't' সময়ে উহার গড় গতিবেগ। চিত্রে দেখ $\frac{t}{2}$ সময় পরে উহার বেগ $= GK$. সহজেই প্রমাণ করা যায়, OBED চতুর্ভুজের ক্ষেত্রফল $= OD \times GK = t \times GK$

অর্থাৎ t সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব $= t \times GK$.

$\therefore \quad GK =$ গড় গতিবেগ

এবং $GK = GH + HK = u + \frac{1}{2} EC = u + \frac{1}{2} ft$.

6. চলন ও আবর্তন—কৌণিক বেগ

পদার্থের গতিকে প্রধানতঃ দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়ঃ

(1) চলন (translation)

(2) আবর্তন বা ঘূর্ণন (rotation)

(1) **চলন**—উপরে আমরা যে গতি সম্পর্কে আলোচনা করিয়াছি তাহা **চলন**। চলনের ফলে বস্তু একস্থান হইতে অন্যস্থানে স্থানান্তরিত হয়। বস্তুর "চলার" পথকে রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায়—এই রেখা সরল বা বক্র উভয়েই হইতে পারে।

(২) **আবর্তন বা ঘূর্ণন** অন্য প্রকারের গতি। ইহাতে কোনও বস্তু কোনও বিন্দু বা অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতে থাকে। সেই বিন্দু বা অক্ষ হইতে

আবর্তমান বস্তুর কণা (particle)-সমূহের দূরত্ব অপরিবর্তিত থাকে। কণাগুলি বিভিন্ন ব্যাসার্ধের এককেন্দ্রিক বৃত্তপথে চলিতে থাকে। অক্ষ হইতে যে-কোনও কণা অবধি একটি সরলরেখা টানিলে সেই রেখা নির্দিষ্ট অবস্থানের সহিত ক্রমবর্ধমান কোণ অঙ্কিত করিতে থাকে। এইরূপ যে-কোনও একটি রেখা নির্দিষ্ট সময়ে যে কোণ গঠিত করে তাহার পরিমাণ দ্বারা আবর্তন গতির পরিমাপ করা হয়। একক সময়ে গঠিত কোণকে আবর্তমান বস্তুর **কৌণিক দ্রুতি** বা **কৌণিক বেগ** বলে। কৌণিক বেগ সম বা অসম হইতে পারে। সমান সমান সময়ে সমান সমান কোণ গঠিত হইলে উহা সম কৌণিক বেগ।

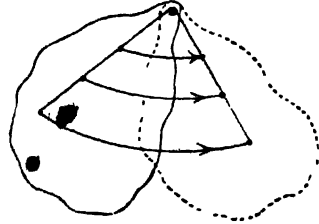



Fig. 30—আবর্তন বা ঘূর্ণন

অন্যথায় উহা অসম কৌণিক বেগ।

মনে কর একটি বস্তু O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া কাগজের সমতলে ঘুরিতেছে এবং OA এই সমতলে যে-কোনও একটি রেখা। বস্তুটি ঘুরিবার ফলে OA রেখা যেন 't' সেকেণ্ড পরে OA′ অবস্থানে আসিল এবং $\angle AOA' = \theta$ $\therefore$ OA রেখা 't' সেকেণ্ডে θ কোণ অতিক্রম করে।

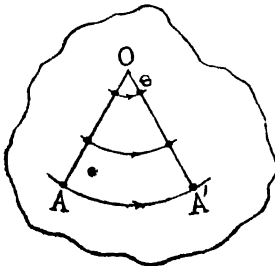



Fig 31—কৌণিক বেগ

$\therefore$ 't' সময়ে বস্তুটির গড় কৌণিক বেগ $= \dfrac{\theta}{t}$ প্রতি সেকেণ্ডে। যদি বস্তুটি সম-বেগে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে ইহাই বস্তুটির যে-কোনও মুহূর্তে কৌণিক বেগ।

কৌণিক বেগ সাধারণতঃ রেডিয়ানের মাপে প্রকাশ করা হয় এবং ω অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়।

বর্তমান উদাহরণে,

$$\text{কৌণিক বেগ} = \omega = \frac{\theta}{t} \text{ রেডিয়ান/সেকেণ্ড।}$$

যদি বস্তুটি T সেকেণ্ড সময়ে সম্পূর্ণ এক পাক ঘোরে তাহা হইলে OA বা ঐ সমতলে O বিন্দু হইতে অঙ্কিত যে-কোনও রেখা ঐ সময়ে 360° বা 2π রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করে।

সুতরাং $\omega = \frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড।

Tকে বলা হয় বস্তুটির পর্যায় কাল বা পর্যায়।

7. কৌণিক ও রৈখিক গতির সম্পর্ক

ঘূর্ণায়মান বস্তুর অন্তর্গত যে-কোনও বিন্দুই অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া বৃত্তপথে ঘোরে। সেই বিন্দু হইতে অক্ষ পর্যন্ত অঙ্কিত সরলরেখা ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ। প্রত্যেক ব্যাসার্ধ প্রতি সেকেণ্ডে যে কোণ অতিক্রম করে—তাহা সমান এবং বস্তুটির কৌণিক বেগের সমান। ঐ বস্তুর অন্তর্গত প্রত্যেক বিন্দুরই কৌণিক বেগও ইহাই। কিন্তু প্রত্যেক বিন্দুরই কৌণিক বেগ ব্যতীত বৃত্তপথে একটি রৈখিক বেগও আছে। যেহেতু অক্ষ হইতে দূরত্ব অনুযায়ী বিভিন্ন বিন্দু কর্তৃক অতিক্রান্ত বৃত্তপথের পরিধি বিভিন্ন সুতরাং অক্ষ হইতে বিভিন্ন দূরে অবস্থিত বিন্দুগুলির রৈখিক গতি বিভিন্ন। 32নং চিত্রে Q বস্তুটির আবর্তন তীরচিহ্ন দ্বারা দেখান হইয়াছে। Q বস্তুর আবর্তনের ফলে O অক্ষ হইতে বিভিন্ন দূরে অবস্থিত P_1, P_2, P_3 বিন্দুগুলি যে বৃত্তাকার পথে ঘোরে তাহাও দেখান হইয়াছে। যে বিন্দু অক্ষ হইতে যত বেশী দূরে অবস্থিত তাহার পথের পরিধি (এবং সুতরাং তাহার রৈখিক গতি) তত বৃহত্তর।

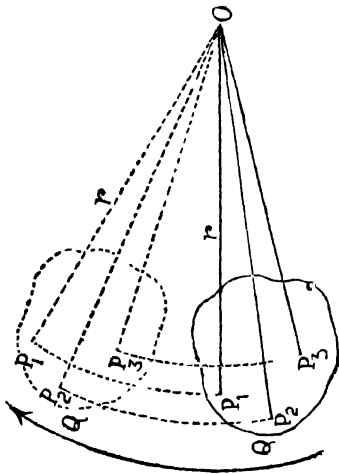



Fig 32

মনে কর, P_1 বিন্দু O অক্ষ হইতে r দূরত্বে অবস্থিত। OP_1 সংযুক্ত কর। $OP_1 (=r)$ P_1 বিন্দুর বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ। বস্তুটির পর্যায় (Period) T সেঃ হইলে OP_1 রেখা T সেঃ সময়ে 2π রেডিয়ান কোণ অতিক্রম করে অর্থাৎ P_1 বিন্দুর কৌণিক বেগ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড$\cdots(1)$

এই সময়ে P_1 বিন্দু বৃত্তের সম্পূর্ণ পরিধি অর্থাৎ $2\pi r$ পথ অতিক্রম করে।

সুতরাং P_1 বিন্দুর রৈখিক বেগ $v = \frac{2\pi r}{T}$

$$\text{বা } T = \frac{2\pi r}{v} \cdots(2)$$

$\therefore \quad \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v}$, (1) ও (2) সমীকরণ হইতে

$$\left.\begin{aligned} \text{বা } \omega &= \frac{v}{r} \\ \text{বা } v &= r\omega \end{aligned}\right\} \cdots(3)$$

(3) সমীকরণ যে-কোনও একটি কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের মধ্যে দ্বন্দ্ব প্রকাশ করে।

Worked out examples

1. কোনও বস্তু ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে চলিতেছে। প্রতি ফুট/সেকেণ্ডে উহার বেগ নির্ণয় কর।

[A body is moving with a velocity of 60 miles per hour. Express its velocity in ft. per sec.]

$$60 \text{ মাইল} = 60 \times 1760 \times 3 \text{ ফুট}$$

$$1 \text{ ঘণ্টা} = 60 \times 60 \text{ সেকেণ্ড}$$

$$\therefore \text{ গতিবেগ} = \frac{60 \text{ মাইল}}{1 \text{ ঘণ্টা}} = \frac{60 \times 1760 \times 3 \text{ ফুট}}{60 \times 60 \text{ সেকেণ্ড}}$$

$$= 88 \text{ ফুট/সেকেণ্ড।}$$

2. কোনও বস্তু স্থির অবস্থা হইতে সমত্বরণের সহিত যাত্রা করিবার 1 মিনিট পরে উহার গতিবেগ সেকেণ্ডে 200 সেন্টিমিটার হইল। ত্বরণের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[A body starting from rest with uniform acceleration acquires a velocity of 200 cm/sec in 1 minute. Find the acceleration.]

এখানে $u=0$, $v=200$ সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড

$t=60$ সেকেণ্ড, $f=$?

$v=u+ft$

বা $200=0+f.60$

$\therefore \quad f=\frac{200}{60}=3{\cdot}33$

অর্থাৎ নির্ণেয় ত্বরণ $=3{\cdot}33$ সে.মি./সেকেণ্ড^2।

3. প্রতি সেকেণ্ডে 120 সে. মি. বেগে চলমান একটি বস্তুর বেগ সমভাবে কমিতে কমিতে 10 সেকেণ্ড পরে 12 সে.মি./সেকেণ্ড হইল। 20 সেকেণ্ড পরে উহার বেগ কত হইবে ?

[A body moving at the rate of 120 cm. per sec. has its velocity, reduced to 12 cm/sec in 10 seconds What will be its velocity after 20 seconds ?]

প্রথমতঃ বস্তুটির মন্দন নির্ণয় করিতে হইবে।

$v=u+ft$

$12=120+f\times 10$

$\therefore \quad =\frac{-108}{10}$ বা $-10{\cdot}8$ সে.মি./সেকেণ্ড^2

এখন 20 সেকেণ্ড পরে বেগ নির্ণয় সহজেই করা যাইবে।

$v=u+ft$

$=120+(-10{\cdot}8)\,20$

$=-96.$

অর্থাৎ বস্তুটি যেদিকে চলিতেছিল তাহার বিপরীত দিকে বেগ হইবে 96 সে. মি./সেকেণ্ড।

4 কোনও বস্তু সমত্বরণের সহিত চলিতে আরম্ভ করিবার পর পঞ্চম সেকেণ্ডে 60 ফুট এবং নবম সেকেণ্ড 100 ফুট অতিক্রম করে। উহার ত্বরণ নির্ণয় কর।

[A body moving with uniform acceleration describes 60 ft in the 5th second and 100 ft in the 9th second. Find its acceleration.]

$S_{n\text{-তম}} = u + \frac{1}{2} f (2n - 1)$

$\therefore \quad 100 = u + \frac{1}{2} f (2 \times 9 - 1) \cdots (1)$

এবং $60 = u + \frac{1}{2} f (2 \times 5 - 1) \cdots (2)$

(1) সমীকরণ হইতে (2) সমীকরণ বাদ দিলে

$40 = \frac{1}{2} f \times 8$

$\therefore \quad f = 10.$

অর্থাৎ নির্ণেয় ত্বরণ = 10 সে. মি./সেকেণ্ড^2।

5. ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলমান একটি ট্রেন একটি ঢাল বাহিয়া 2 ফুট/সেকেণ্ড^2 সমত্বরণের সহিত চলিতে আরম্ভ করিল। 10 সেকেণ্ডে উহা কতখানি যাইবে ?

[A train running at the rate of 30 m. p. h. begins to descend down an incline with an acceleration of 2 ft/sec^2. How far will it descend in 10 secs ?]

এখানে $u = 30$ মাইল/ঘণ্টা $= 44$ ফুট/সেকেণ্ড

$f = 2$ ফুট/সেকেণ্ড^2

$s = ?$

$s = ut + \frac{1}{2} ft^2$

$= 44 \times 10 + \frac{1}{2}.2.10^2$

$= 440 + 100$

$= 540$ ফুট।

6. 2 মিটার দীর্ঘ একটি সূতার একপ্রান্তে আবদ্ধ একটি বল সূতার সমতলে চক্রাকারে ঘুরিয়া 5 সেকেণ্ডে 10 বার আবর্তিত হয়। বলটির কৌণিক এবং রৈখিক গতিবেগ নির্ণয় কর

[A ball fastened at one end of a string 2 metres long revolving in the plane of the string makes 10 revolutions in 5 secs. Find the angular and linear speed of the ball.]

(1) একবার আবর্তনে বলটি 2π রেডিয়ান কোণ অতিক্রম করে

∴ 10 বার আবর্তনে বলটি $2\pi \times 10$ রেডিয়ান কোণ অতিক্রম করে

∴ কৌণিক গতিবেগ $= \dfrac{2\pi \times 10 \text{ রেডিয়ান}}{5 \text{ সেকেণ্ড}} = 4\pi$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড।

(2) বলটি যে বৃত্তপথে চলে তাহার ব্যাসার্ধ 200 সে. মি.

∴ একবার আবর্তনে বলটি $2\pi \times 200$ সে. মি. পথ অতিক্রম করে

∴ 10 বার আবর্তনে বলটি $2\pi \times 200 \times 10$ সে. মি. পথ অতিক্রম করে

∴ বলটির রৈখিক বেগ $= \dfrac{2\pi \times 200 \times 10}{5}$ সে. মি./সেকেণ্ড

$= \dfrac{2 \times 3{\cdot}14 \times 200 \times 10}{5}$ সে. মি./সেকেণ্ড

$= 2512$ সে. মি./সেকেণ্ড।

অনুশীলনী

1. Define :—Speed, velocity, acceleration and angular speed, Explain clearly what is meant by 'average velocity' and 'uniform velocity.'

   সংজ্ঞা লিখ :—দ্রুতি, বেগ, ত্বরণ, কৌণিক বেগ। 'গড়বেগ' এবং 'সমবেগ' বলিতে কি বুঝায় বিশদভাবে ব্যাখ্যা কর।

2. Deduce the equation $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$.

   $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$ এই সমীকরণটি উপপাদন কর।

3. A train running at the rate of 30 miles/hr is brought to rest with uniform retardation in 11 seconds by applying brakes. Find the retardation produced and how far the train moves before coming to rest. [Ans. 242 ft., 4 ft/sec^2]

একটি ট্রেন ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলিতে চলিতে ব্রেক কষিয়া সমমন্দনের (uniform retardation) সহিত 11 সেকেণ্ডে থামাইয়া দেওয়া হইল। থামিবার পূর্বে ইহা কতখানি দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা এবং মন্দনের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[উঃ 242 ফুট, 4 ফুট/সেকেণ্ড^2]

4. The velocity of a body moving with a uniform acceleration changes from 4 ft/sec to 10 ft/sec in 10 secs Find its acceleration and the distance it travels in this time. [Ans ·6 ft/sec^2, 70 ft]

সমত্বরণের সহিত চলমান কোনও বস্তুর গতিবেগ সেকেণ্ডে 4 ফুট হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 10 সেকেণ্ডে 10 ফুট/সেকেণ্ড হইল। সমত্বরণের পরিমাণ এবং এই সময়ে উহা কতখানি যায় তাহা নির্ণয় কর। [উঃ 6 ফুট/সেকেণ্ড^2 ; 70 ফুট]

5. A uniformly accelerated body passes through 500 ft in the first 10 seconds of its motion and its velocity becomes 60 ft/sec. Find its initial velocity and acceleration. [Ans. 40 ft/sec ; 2 ft/sec^2]

কোনও বস্তু সমত্বরণের সহিত চলিতে আরম্ভ করিয়া 10 সেকেণ্ডে 500 ফুট পথ অতিক্রম করে এবং ঐ সময়ে উহার গতিবেগ হয় সেকেণ্ডে 60 ফুট। প্রাথমিক গতিবেগ এবং ত্বরণ নির্ণয় কর। [উঃ 40 ফুট/সেকেণ্ড ; 2 ফুট/সেকেণ্ড^2]

6 A body is dropped from a balloon rising upward with a velocity of 48 ft/sec at a height of 160 ft. Find how long it will take to reach the ground assuming that it has a downward acceleration of 32 ft/sec^2. [Ans. 5 sec.]

160 ফুট উচ্চে সেকেণ্ডে 48 ফুট বেগে ঊর্ধ্বগামী একটি বেলুন হইতে একটি বস্তু ছাড়িয়া দেওয়া হইল। মাটিতে পড়িতে উহার কতক্ষণ লাগিবে ? (নীচের দিকে ত্বরণের পরিমাণ 32 ফুট/সেকেণ্ড^2) [উঃ 5 সেকেণ্ড]

7. A uniformly moving body travels through 15 ft and 20 ft. respectively in the 5th and 7th second of its motion. Find the initial velocity and acceleration. [Ans. 3·75 ft/sec , 2·5 ft/sec^2]

সমত্বরণের সহিত চলমান একটি বস্তু যাত্রা করিবার পর পঞ্চম সেকেণ্ডে 15 ফুট এবং সপ্তম সেকেণ্ডে 20 ফুট পথ অতিক্রম করে। উহার প্রাথমিক বেগ এবং ত্বরণ নির্ণয় কর। [উঃ 3·75 ফুট/সেকেণ্ড ; 2·5 ফুট/সেকেণ্ড^2]

8. A train starts from rest with uniform acceleration. After 15 min. its speed becomes 80 mil/hr. Then it continues to move with uniform speed for 10 minutes. After that its speed decreases uniformly and it stops in 20 minutes. Draw a speed-time graph and find the distance travelled by the train.

একটি ট্রেন স্থির অবস্থা হইতে সমত্বরণের সহিত যাত্রা করিল। 15 মিনিট পরে উহার গতিবেগ ঘণ্টায় 30 মাইল হইল। তারপর উহা 10 মিনিট ধরিয়া সমদ্রুতিতে চলিতে থাকিল। তারপর উহার দ্রুতি কমিতে কমিতে 20 মিনিট পরে উহা থামিয়া গেল। ট্রেনটির দ্রুতি-সময় লেখচিত্র অঙ্কিত কর এবং ট্রেনটি কতখানি পথ অতিক্রম করে তাহা বাহির কর।

9. Draw the velocity-time graph of a uniformly accelerated body and deduce the equation $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ from that

একটি সমত্বরান্বিত বস্তুর বেগ-সময় লেখচিত্র অঙ্কিত কর এবং তাহা হইতে $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণ উপপাদন কর।

10. Find the relation between the angular speed and linear speed of a body moving uniformly in a circular path.

The earth revolves round the sun which is 93000000 miles distant from it, in $365\frac{1}{4}$ days. Find the linear speed of the earth.

বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে চলমান কোনও বস্তুর কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের মধ্যে সম্বন্ধ নির্ণয় কর।

পৃথিবী সূর্যকে বৃত্তাকার পথে $365\frac{1}{4}$ দিনে প্রদক্ষিণ করে। সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব 93000000 মাইল। সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর রৈখিক বেগ নির্ণয় কর।

চতুর্থ অধ্যায়

নিউটনের গতি সম্বন্ধীয় সূত্রাবলী

(Newton's laws of motion)

1. পূর্বেই বলা হইয়াছে যে নিউটনের গতি সম্বন্ধীয় তিনটি সূত্রকে গতি-বিজ্ঞানের ভিত্তি বলিয়া মনে করা হয়। নিম্নে সূত্রগুলি সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

প্রথম সূত্র—বাহির হইতে প্রযুক্ত কোনও বলদ্বারা অবস্থার পরিবর্তনে বাধ্য না হইলে সকল স্থির বস্তু স্থির অবস্থায় থাকে এবং সকল চলমান বস্তু সমবেগে সরলরেখায় চলিতে থাকে।

দ্বিতীয় সূত্র—কোনও বস্তুর ভরবেগের (momentum) পরিবর্তনের হার উহার উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক এবং বল যে দিকে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তন সেই দিকে ঘটে।

তৃতীয় সূত্র—প্রত্যেক ক্রিয়ার একটি প্রতিক্রিয়া আছে, প্রতিক্রিয়া ক্রিয়ার সমান ও বিপরীত।

2. প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা

প্রথম সূত্রকে জাড্যের সূত্রও (law of inertia) বলা হয়। প্রত্যেক জড় পদার্থের মধ্যে স্থির অবস্থায় থাকিলে স্থির থাকিবার অথবা কোনও নির্দিষ্ট দিকে চলমান থাকিলে সেই অবস্থায় থাকিবার ঝোঁক দেখা যায়। জড়পদার্থের এই ঝোঁক বা ধর্মকে বলা হয় জাড্য (inertia)। সুতরাং জাড্য দুইপ্রকার—স্থিতি-জাড্য ও গতি-জাড্য। এই দুইপ্রকার জাড্যের বহু দৃষ্টান্ত আমরা দৈনন্দিন জীবনে দেখিতে পাই।

ঘরের ভিতরে চেয়ার, টেবিল বা অন্য কিছু—যারা যেখানে আছে সেখানেই থাকে—আপনা হইতে উহাদের নড়িবার ক্ষমতা নাই। উহাদের উপর বাহির হইতে বল প্রযুক্ত না হইলে উহারা স্ব স্ব স্থানে স্থিরই থাকিবে। মাঠে

ফুটবল পড়িয়া আছে। কেহ লাথি না মারিলে অথবা বাতাসে ঠেলিয়া না দিলে ফুটবল যেখানে আছে সেখানেই থাকিবে—নড়িবে না। ইহা স্থিতি-জাড্যের উদাহরণ। মনে কর কোন লোক ট্রামে দাঁড়াইয়া আছে। ট্রাম হঠাৎ চলিতে আরম্ভ করিল। তাহার পা ট্রামের সঙ্গে সম্মুখ দিকে অগ্রসর হইবে কিন্তু তাহার দেহের উপরের অংশের পূর্বস্থানেই থাকিয়া যাইবার ঝোঁক রহিয়াছে। ফলে লোকটি যদি টাল না সামলাইয়া লইতে পারে তাহা হইলে পশ্চাদ্দিকে চিৎ হইয়া পড়িবে।

গতি-জাড্যেরও অনেক দৃষ্টান্ত দেওয়া যায়। কেহ চলন্ত ট্রাম বা বাস হইতে নামিবার সময় মাটিতে পা ঠেকাইবার সঙ্গে সঙ্গে গতির জাড্যের জন্য সম্মুখের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। এজন্য নামিবার সময় সামান্য পশ্চাদ্দিকে হেলিয়া নামা উচিত। আবার দেখা যায় যে চলন্ত ট্রাম বা বাস যদি হঠাৎ থামিয়া যায় তাহা হইলে ট্রাম বা বাসের আরোহীরা সম্মুখের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। ইহা গতি-জাড্যের দৃষ্টান্ত।

নিউটনের প্রথম সূত্রের দ্বিতীয় অংশে বলা হইয়াছে যে চলমান বস্তু সমবেগে সরলরেখায় চলিত থাকিবে যদি না বাহির হইতে প্রযুক্ত কোনও বল উহাকে ঐ অবস্থা হইতে চ্যুত করে। ইহা অবশ্য পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ করিবার উপায় নাই কারণ বাস্তবে ঐরূপ অবস্থা ঘটান যায় না। তথাপি আমাদের অভিজ্ঞতা এই উক্তির সমর্থনে সাক্ষ্য দেয়। মনে কর মাঠে ঘাসের উপর দিয়া কোনও একটি জিনিস গড়াইয়া দেওয়া হইল। কিছুদূর যাইবার পর জিনিসটি থামিয়া যাইবে। থামিয়া যাইবার কারণ প্রধানতঃ ঘাসের সহিত ঘর্ষণজনিত বাধা এবং বাতাসের বাধা। ঐ একই জিনিস যদি মসৃণ সিমেণ্ট-বাঁধান মেজের উপর দিয়া গড়াইয়া দেওয়া যায় তাহা হইলে উহা আরও বেশীদূর অবধি গড়াইয়া যাইবে। এক্ষেত্রে বাতাসের বাধা আছে কিন্তু ঘর্ষণের বাধা অনেক কম। আমরা কল্পনা করিতে পারি যে যদি বাতাস এবং ঘর্ষণের বাধা সম্পূর্ণরূপে অপসারিত করা যায় তাহা হইলে জিনিসটি না থামিয়া সরলপথে চলিতে থাকিবে। বাহির হইতে কোনও বল ইহার উপর প্রযুক্ত না হইলে ইহার গতিবেগের হ্রাস, বৃদ্ধি অথবা দিকের পরিবর্তন হইবে না। গতিবেগের হ্রাস বা বৃদ্ধি অথবা

চলার দিকের পরিবর্তন হইলে বুঝিতে হইবে বাহিরের কোনও বল উহার উপর প্রযুক্ত হইয়াছে।

3. নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে বলের সংজ্ঞা

নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে আমরা বলের (force) একটি সংজ্ঞা পাই। এই সূত্র হইতে আমরা জানিতে পারি যে কোনও স্থির বস্তুকে গতিসম্পন্ন করিতে অথবা চলমান বস্তুর গতিবেগের পরিবর্তন ঘটাইতে হইলে বলের প্রয়োজন হয়। সুতরাং আমরা বলিতে পারি—বল হইল এমন কিছু যাহা স্থির বস্তুর স্থির অবস্থার অথবা সরলরেখায় সমবেগে চলমান বস্তুর সমবেগে চলমান অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে পারে।

4. দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা

কোনও চলমান বস্তুর ভর এবং বেগের গুণফলকে ভরবেগ (momentum) বলে। কোনও বস্তুর ভর যদি m হয় এবং বেগ v হয় তাহা হইলে উহার ভরবেগ mv হইবে।

ভরবেগের একক

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের এককের কোনও নাম নাই। একগ্রাম ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তু সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার বেগসম্পন্ন হইলে উহার যে ভরবেগ হয় তাহা সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক।

উদাহরণ—250 গ্রাম ভর বিশিষ্ট একটি বলের (ball) বেগ প্রতিসেকেণ্ডে 50 সে.মি.। উহার ভরবেগ কত?

বলের ভরবেগ = বলের ভর × বলের বেগ

= 250 × 50 সি. জি. এস্. একক

= 12500 সি. জি এস্. একক।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক 'পাউণ্ডেম' (poundem)। এক পাউণ্ড ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তু সেকেণ্ডে একফুট বেগসম্পন্ন হইলে উহার ভরবেগ হয় এক পাউণ্ডেম।

ভর অথবা বেগের অথবা উভয়ের পরিবর্তন হইলে ভরবেগের পরিবর্তন হয়। ভর অপরিবর্তিত থাকিলে কেবলমাত্র বেগের পরিবর্তন দ্বারাই ভরবেগের পরিবর্তন হয়।

5. নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে বলের একটি সংজ্ঞা পাওয়া যায় এবং দ্বিতীয় সূত্র হইতে পাওয়া যায় বলের পরিমাপ করিবার একটি পদ্ধতি। নিম্নের আলোচনা হইতে ইহা বুঝা যাইবে।

6. P = mf

মনে কর m ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তু u বেগে যাত্রা শুরু করিল এবং উহার উপর P পরিমাণ একটি স্থির (constant) বলের অনবরত ক্রিয়ার ফলে t সময় পরে উহার বেগ পরিবর্তিত হইয়া v হইল।

অতএব আমরা বলিতে পারি,

বস্তুটির প্রাথমিক ভরবেগ $= mu$

t সময় পরে বস্তুটির অন্তিম ভরবেগ $= mv$

∴ t সময়ে বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন $= mv - mu$

∴ ভরবেগের পরিবর্তনের হার

$$= \frac{mv - mu}{t}$$

$$= m\frac{(v-u)}{t}$$

$$= mf \quad \left(\because \frac{v-u}{t} = f\right)$$

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে,

P ∝ ভরবেগের পরিবর্তনের হার

বা $P \propto mf$

বা $P = kmf$. (k একটি ধ্রুবক, ইহার মান বল, ভর ও ত্বরণের এককের উপর নির্ভর করে।)

এই সমীকরণ দ্বারা যে তথ্য সূচিত হয় তাহা আমরা ভাষায় এইভাবে প্রকাশ করিতে পারি—P পরিমাণ বল m পরিমাণ ভরের উপর প্রযুক্ত হইয়া 'f' পরিমাণ ত্বরণ উৎপন্ন করে।

সুতরাং বলের ত্বরণ উৎপাদন করিবার ক্ষমতার ভিত্তিতে আমরা নিম্নোক্ত উপায়ে একক বলের সংজ্ঞা নির্দেশ করিতে পারি।

যে বল একক ভরের উপর প্রযুক্ত হইয়া একক ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহাই একক বল।

অর্থাৎ বলের এই সংজ্ঞানুসারে,

যদি $m=1$ এবং $f=1$ হয় তাহা হইলে $P=1$

উপরোক্ত সমীকরণে $P=1$, $m=1$ এবং $f=1$ বসাইলে $k=1$ হয়।

অতএব $P = mf$

7 সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বলের একক—যে বল এক গ্রাম ভরসম্পন্ন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া প্রতিসেকেণ্ডে প্রতিসেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহাই সি. জি. এস. পদ্ধতি বলের একক। ইহার নাম এক ডাইন (dyne)।

8. এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বলের একক—যে বল এক পাউণ্ড ভর-সম্পন্ন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া প্রতিসেকেণ্ডে প্রতিসেকেণ্ডে একফুট ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহাই এফ পি. এস. পদ্ধতি বলের একক। ইহার নাম পাউণ্ডাল (poundal)।

9. পাউণ্ডাল ও ডাইনের সম্বন্ধ

1 পাউণ্ডাল $=$ 1 পাউণ্ড $\times$ 1 ফুট/সেকেণ্ড^2

$=$ 453·6 গ্রাম $\times$ 30·48 সে.মি./সেকেণ্ড^2

$=$ 453·6 $\times$ 30·48 ডাইন

$=$ 13820 ডাইন (প্রায়)।

10. বলের আভিকর্ষিক একক (Gravitational unit of Force)

'ডাইন' এবং 'পাউণ্ডাল' যথাক্রমে সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বলের একক। এই এককদ্বয়কে বলের 'পরম' (absolute) বা স্থান-কাল-নিরপেক্ষ একক বলা হয়। উভয় পদ্ধতিতেই আরেকপ্রকার বলের একক প্রচলিত আছে— উহার নাম আভিকর্ষিক একক। উহার পরিমাপ পদার্থের ভারের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং উহা স্থান-নিরপেক্ষ নহে।

(1) **বলের সি. জি. এস. আভিকর্ষিক একক**—একগ্রাম ভর বিশিষ্ট বস্তুর ভারই হইল বলের সি. জি. এস. আভিকর্ষিক একক। ইহাকে বলা হয় একগ্রাম ভার (1 gm. wt.) বা সময় সময় শুধু একগ্রাম।

(2) **বলের এফ. পি. এস. আভিকর্ষিক একক**—এক পাউণ্ড ভর বিশিষ্ট বস্তুর ভারই হইল বলের এফ. পি. এস. আভিকর্ষিক একক। ইহাকে বলা হয় এক পাউণ্ড ভার (1 ℔ wt.) বা সময় সময় শুধু এক পাউণ্ড।

আমরা পূর্বেই জানিয়াছি পদার্থের ভার স্প্রিং-তুলার সাহায্যে মাপা যায় এবং উহার পরিমাণ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বস্তুর দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং বলের আভিকর্ষিক একক স্থান-নিরপেক্ষ স্থির একক নহে। যেমন নিরক্ষীয় অঞ্চলে আভিকর্ষিক এককের মান মেরু অঞ্চলের আভিকর্ষিক এককের মান অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর।

11. অভিকর্ষজ ত্বরণ (Acceleration due to gravity), ভর ও ভারের সম্পর্ক

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা জানিযাছি বলের কাজ ত্বরণ উৎপন্ন করা এবং বল, ভর ও ত্বরণের মধ্যে সম্বন্ধ $P = mf$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়। যেহেতু অভিকর্ষ একটি বল এবং পৃথিবীপৃষ্ঠস্থ ও নিকটবর্তী সকল বস্তুর উপর ইহা সর্বদা কার্যকরী সুতরাং ইহা সকল বস্তুতে পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী ত্বরণ উৎপন্ন করে। এজন্যই দেখা যায় যে উপর হইতে কোন বস্তু বিনা বাধায় পড়িতে থাকিলে উহার বেগ ক্রমশ বৃদ্ধি পায় এবং উপর দিকে কোনও বস্তু ছুড়িয়া দিলে উহার বেগ ক্রমশ হ্রাস পাইতে থাকে, অবশেষে উহা থামিয়া গিয়া নীচের দিকে ক্রমবর্ধমান বেগে পড়িতে থাকে। এই অভিকর্ষজনিত ত্বরণকে বলা হয় **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity) এবং ইহাকে 'g' অক্ষরদ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করা যাক m গ্রাম ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুর ভার w ডাইন। যেহেতু এই ভার 'g' সে.মি./সেকেণ্ড^2 ত্বরণ উৎপন্ন করে,

$$\text{সুতরাং} \quad w = mg$$

$$\text{বা} \quad \frac{w}{m} = g.$$

গ্যালিলিও সর্বপ্রথম পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে কোনও নির্দিষ্ট স্থানে সকল বস্তুর পক্ষেই অভিকর্ষজ ত্বরণ সমান অর্থাৎ 'g' একটি ধ্রুবক।

সুতরাং $w \propto m$

বা ভার ভরের সমানুপাতিক।

12. তৃতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা

প্রত্যেক ক্রিয়ার সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে। এখানে 'ক্রিয়া' এবং 'প্রতিক্রিয়া' দ্বারা বল বুঝায়। যখনই কোনও বল ক্রিয়া করে, এই সূত্রানুসারে, তখনই ঐ বলের সমান ও বিপরীত আর একটি বলের উদ্ভব হয়। অন্যভাবে বলা যায় যে সকল সময় বলের অস্তিত্ব জোড়ায় জোড়ায় দেখা যায়। দৃষ্টান্তের সাহায্যে ইহা বুঝিতে চেষ্টা করা যাক্।

পৃথিবী যেমন আপেল ফলকে আকর্ষণ করে, আপেল ফলও তেমনি পৃথিবীকে আকর্ষণ করে।

সূর্য পৃথিবীকে নিজ কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে, সঙ্গে সঙ্গে পৃথিবীও সূর্যকে নিজ কেন্দ্রের দিকে অর্থাৎ বিপরীত দিকে সমান বলে আকর্ষণ করে। এই দুইটি দৃষ্টান্তেই একের আকর্ষণকে ক্রিয়া এবং অপরের আকর্ষণকে প্রতিক্রিয়া বলা হয়। ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া দুই বিভিন্ন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয়। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার আরও দৃষ্টান্ত লওয়া যাইতে পারে। টেবিলের উপর একটি বই আছে। নিজ ভারের জন্য বইটি টেবিলের উপর নীচের দিকে চাপ দিতেছে। সঙ্গে সঙ্গে টেবিলটিও বইটিকে সমান বলে উপরের দিকে ঠেলিতেছে। বইয়ের উপর দুইটি সমান বিপরীতমুখী বল কাজ করিতেছে—একটি নিম্নাভিমুখী নিজ ভার এবং অপরটি টেবিলের উর্ধ্বাভিমুখী প্রতিক্রিয়া। ফলে বইটি স্থির আছে।

নৌকা পাড়ের কাছে আসিলে নৌকা হইতে পাড়ে লাফাইয়া আসিবার সময় লোকটিকে একটু পেছন দিকে ধাক্কা দিতে হয়। ইহার ফলে নৌকা পেছন দিকে চলিয়া যায় এবং ধাক্কার প্রতিক্রিয়া লোকটিকে পাড়ে আসিতে সাহায্য করে।

বন্দুকের ভিতরে বল প্রয়োগের ফলে গুলি যখন তীব্র বেগে সম্মুখ দিকে ছুটিয়া যায় তখন যে বন্দুক ছোড়ে সে পেছন দিকে একটি ধাক্কা অনুভব করে। ইহা বন্দুকের উপর গুলির প্রতিক্রিয়ার ফল।

আমরা হাঁটিবার সময় ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার সাহায্য লই। লক্ষ্য করিবে যে হাঁটিবার সময় আমরা পায়ের পাতার সম্মুখ দিকে ভর করিয়া মাটির উপর পেছন দিকে ঠেলা দেই। ইহা হইল ক্রিয়া। মাটির প্রতিক্রিয়া আমাদিগকে সম্মুখ দিকে পদক্ষেপে সাহায্য করে।

13. বিভিন্ন প্রকারের বল এবং ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া

সাধারণতঃ 'বল' কথা দ্বারা কোনও প্রকার ঠেলা বা টান বুঝায়। ইহা ছাড়াও আমরা বলের প্রকাশ নানারূপে দেখিতে পাই এবং বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন নাম ব্যবহার করি। নীচে কয়েকটি প্রচলিত নাম সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল।

(1) **আকর্ষণ ও বিকর্ষণ (attraction and repulsion)**—দুইটি পরস্পর বিচ্ছিন্ন বস্তু যদি কোনও বলের ক্রিয়ার ফলে পরস্পরের নিকটবর্তী হইতে চায় তখন সেই বলকে **আকর্ষণ** বলে। অভিকর্ষ, মহাকর্ষ, লৌহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া আকর্ষণের দৃষ্টান্ত।

কোনও বলের প্রভাবে দুইটি বস্তু যদি পরস্পর হইতে দূরে চলিয়া যাইতে চায়, তাহা হইলে সেই বলকে **বিকর্ষণ** বলে। যেমন দুইটি চুম্বকের সমমেরুর মধ্যে বিকর্ষণ বল বর্তমান।

(2) **টান (pull or tension)**—সাধারণতঃ কোনও দড়ি বা সূতার মাধ্যমে যখন বল প্রযুক্ত হয় তখন সেই বলকে টান বলে। সূতা দিয়া বাঁধিয়া একটি ঢিল ঝুলাইয়া রাখিলে ঢিল নিজ ভারে সূতাকে নীচের দিকে টানে। ইহার প্রতিক্রিয়া সূতার ভিতর দিয়া ঢিলের উপর উর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে। এই প্রতিক্রিয়াকে **টান** বলে।

(3) **ঘর্ষণ (Friction)**—একটি বস্তু আর একটি বস্তুর উপর দিয়া চলিবার সময় দুই বস্তুর তলের সংযোগস্থলে একটি গতিরোধকারী বলের সৃষ্টি হয়। ইহাকে **ঘর্ষণ** বলে। তল যত বেশী মসৃণ হয় ঘর্ষণও তত কম হয়।

(4) **ঘাত ও চাপ (Thrust and pressure)**—মনে কর টেবিলের উপর একটি বই আছে। বইটি নিজ ভারের জন্য টেবিলের উপর নীচের দিকে একটি বল প্রয়োগ করিতেছে। বলের এই মোট পরিমাণকে বলা হয় **'ঘাত'** (thrust)। টেবিলের উপর একক ক্ষেত্রফল পরিমিত স্থানের উপর

যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে বলে '**চাপ**'। অর্থাৎ চাপ হইল একক ক্ষেত্রফলের উপর ঘাত।

কোনও বস্তুকে জলে নিমজ্জিত করিলে সেই বস্তুর উপর জলের 'ঊর্ধ্বঘাত' ক্রিয়া করে।

Worked out examples

1. A constant force acting on a body of mass 25 lbs at rest causes it to move through 27 ft. in 3 secs. Find the magnitude of the force.

[25 পাউণ্ড ভর বিশিষ্ট একটি স্থির বস্তুর উপর একটি বল প্রযুক্ত হওয়ায় উহা 3 সেকেণ্ডে 27 ফুট যায়। বলের পরিমাণ কত ?]

প্রথমতঃ বস্তুটির ত্বরণ নির্ণয় করিতে হইবে।

যেহেতু $u=0$,

$\therefore \quad s=\frac{1}{2}ft^2$

বা $\quad 27=\frac{1}{2}f\times 3^2$

বা $\quad f=6$ ফুট/সেকেণ্ড^2

এখন $\quad P=mf$

$=25\times 6$ পাউণ্ডাল

$=150$ পাউণ্ডাল।

2. A force of 120 dynes acts upon a body of mass 30 gms for 10 secs ; what velocity does it generate ?

[120 ডাইন একটি বল 10 সেকেণ্ড ধরিয়া 30 গ্রাম ভরের একটি বস্তুর উপর ক্রিয়া করে ; বল কর্তৃক উৎপন্ন গতিবেগ নির্ণয় কর।]

$P=mf.$

এখানে $\quad P=120$ ডাইন

$m=30$ গ্রাম

$\therefore \quad 120=30\times f$

বা $\quad f=4$ সে মি/সেকেণ্ড^2

সুতরাং নির্ণেয় বেগ $\quad v=ft$

$=4\times 10$ সে মি./সেকেণ্ড

$=40$ সে মি./সেকেণ্ড।

3. A 15-ton truck is moving at the rate of 30 miles/hr; what is its momentum? What force will bring it to rest in 15 secs?

[একটি 15-টন ট্রাক ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলিতেছে। ইহার ভরবেগ নির্ণয় কর। ইহাকে 15 সেকেণ্ডে থামাইতে হইলে ইহার উপর কি পরিমাণ বল প্রয়োগ করিতে হইবে?]

15 টন $= 15 \times 2240$ পাউণ্ড

30 মাইল/ঘণ্টায় $= 44$ ফুট/সেকেণ্ড

সুতরাং নির্ণেয় ভরবেগ $= mv$

$= 15 \times 2240 \times 44$ এফ্. পি. এস্. একক

ইহাকে 15 সেকেণ্ডে থামাইতে হইলে প্রয়োজনীয় মন্দনের পরিমাণ $v = u - ft$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে

এখানে $v = 0$, $u = 44$, $t = 15$ সে, $f = ?$

$\therefore \quad f = \frac{44}{t} = \frac{44}{15}$ ফুট/সেকেণ্ড^2

সুতরাং নির্ণেয় বল,

$P = mf$

$= 15 \times 2240 \times \frac{44}{15}$ পাউণ্ডাল

$= 98560$ পাউণ্ডাল।

4. What momentum will be gained by a body of mass 1 Kilogramme when it is acted on by a force of 50 gram wt. for 10 secs?

[এক কিলোগ্রাম ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুর উপর 50 গ্রাম ভার বল 10 সেকেণ্ড ধরিয়া ক্রিয়া করিলে সেই বস্তুর ভরবেগ কত হইবে?]

50 গ্রাম ভার $= 50 \times 981$ ডাইন

1 কিলোগ্রাম $= 1000$ গ্রাম

এখন $P = mf$

$50 \times 981 = 1000f$

$\therefore \quad f = \frac{50 \times 981}{1000}$ সে. মি./সেকেণ্ড^2

10 সেকেণ্ড পরে বেগ

$$V = ft$$

$$= \frac{50 \times 981 \times 10}{1000}$$

= 490·5 সে. মি./সেকেণ্ড

সুতরাং নির্ণেয় ভরবেগ = mv

= 1000 × 490·5 সি. জি. এস্. একক

= 490500 সি. জি. এস্. একক

5. Express the value of a pound weight in dynes.

(এক পাউণ্ড ভার বলকে ডাইনে প্রকাশ কর।)

1 পাউণ্ড ভার = 1 পাউণ্ড ভরের ভার

= 453·6 গ্রাম ভরের ভার

= 453·6 × 981 ডাইন

= $4 \cdot 45 \times 1^{5}$ ডাইন

অনুশীলনী

1. State and discuss Newton's first law of motion. Show that this law gives us a definition of force.
   নিউটনের প্রথম সূত্রটি লিখ এবং তৎসম্বন্ধে আলোচনা কর। নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে আমরা বলের একটি সংজ্ঞা পাই—বুঝাইয়া দাও।
2. State and explain Newton's second law of motion. Show that it gives us a method of measuring a force
   নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রটি বিশদভাবে ব্যাখ্যা কর। এই সূত্র হইতে বলের পরিমাপ করিবার একটি উপায় পাওয়া যায়—কিরূপে ?
3. What are C. G S. and F. P. S. absolute units of force ? Find a relation between the two. What other units of force are in use ?
   সি. জি এস্. এবং এফ্ পি এস্. পদ্ধতিতে বলের পরম এককের পরিচয় দাও এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ নির্ণয় কর। বলের অন্যান্য প্রচলিত একক কি কি ?
4. State and explain Newton's third law of motion. Give examples of its applieation.
   নিউটনের তৃতীয় সূত্র বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর। ইহার প্রয়োগের কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও।

5. Define :—Force, momentum.

What is the unit of momentum ?

How long must a force of 50 dynes act on a body to give it a momentum of 6000 C. G. S. units ?

সংজ্ঞা লিখ :—বল, ভরবেগ।

ভরবেগের একক কি ?

50 ডাইন পরিমিত একটি বল কতক্ষণ একটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে উহাকে 6000 সি. জি. এস. একক ভরবেগ প্রদান করিবে ?

6. Explain what is meant by 'the acceleration due to gravity.' If its numerical value be 32 when units of length and time are respectively the foot and the second, what is its value when the units of length and time are the yard and the minute respectively ?

'অভিকর্ষজ ত্বরণ' কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। ফুট এবং সেকেণ্ড দৈর্ঘ্য ও সময়ের একক হইলে ইহার মান যদি 32 হয় তাহা হইলে গজ ও মিনিট দৈর্ঘ্য এবং সময়ের একক হইলে ইহার মান কত হইবে ?

7. A railway train whose mass is 100 tons, moving at the rate of 60 miles per hour is broght to rest in 10 secs. by the application of a uniform force Find the magnitude of the force. How far will it travel during this time ?

ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে চলমান একটি 100 টন রেলগাড়িকে বিপরীতদিকে সমবল (uniform force) প্রয়োগ করিয়া 10 সেকেণ্ডে থামাইয়া দেওয়া হইল। এই বলের পরিমাণ নির্ণয় কর। এই সময়ে ইহা কতখানি পথ যাইবে ?

8. A force of 60 dynes acting on a body for 15 seconds imparts to it a velocity of 120 centimetres per second. Find the mass of the body.

60 ডাইন পরিমিত একটি বল কোনও বস্তুর উপর 15 সেকেণ্ড ক্রিয়া করিয়া উহাকে সেকেণ্ডে 120 সে. মি বেগ প্রদান করিল। বস্তুটির ভর কত ?

9. What force must be applied for one-tenth of a second to a mass of 5 tons in order to produce in it a velocity of 1920 ft. per minute

5 ton ভরবিশিষ্ট কোনও বস্তুর উপর কি পরিমাণ বল $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের জন্য প্রযুক্ত হইয়া উহাকে মিনিটে 1920 ফুট গতিবেগ প্রদান করিবে ?

10. A 30 ton mass is moving on smooth level rails at 20 miles an hour , what steady force can stop it (a) in half a minute, (b) in half a mile ?

একটি 30-টন ট্রাক মসৃণ সমতল রেলের উপর দিয়া ঘণ্টায় 20 মাইল বেগে চলিতেছে। কি পরিমাণ বলের প্রয়োগদ্বারা উহাকে (a) অর্ধ মিনিটে, (b) অর্ধ মাইলের মধ্যে থামাইয়া দেওয়া যাইবে ?

পঞ্চম অধ্যায়

ভৌতিক রাশিসমূহ

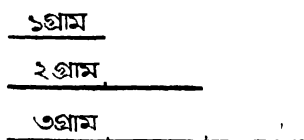
ভেক্টর ও স্কেলার রাশি
(Vector and Scalar quantities)

1. দৈর্ঘ্য, ভর, সময়, সরণ, দ্রুতি, বেগ, ত্বরণ, ভরবেগ, বল প্রভৃতিকে বলা হয় ভৌতিক রাশি (physical quantity)। ইহাদিগের পরিমাপ করা যায়। এই রাশিগুলিকে দুই ভাগে বিভক্ত করা হয়, যথা—স্কেলার রাশি ও ভেক্টর রাশি।

2. **স্কেলার রাশি**—যে সকল রাশির কেবলমাত্র পরিমাণ (magnitude) আছে, দিক্ নাই তাহাদিগকে **স্কেলার রাশি** বলে। দৈর্ঘ্য, ভর, সময়, দ্রুতি ইত্যাদি স্কেলার রাশি।

3. **ভেক্টর রাশি**—যে সকল রাশিকে পরিপূর্ণভাবে প্রকাশ করিবার জন্য উহাদের পরিমাণ এবং অভিমুখিতা এই দুইয়েরই উল্লেখ করিতে হয় তাহাদিগকে ভেক্টর রাশি বলে। অর্থাৎ ভেক্টর রাশির পরিমাণ এবং নির্দিষ্ট দিক্ আছে। সরণ, বেগ, ত্বরণ, বল, ভরবেগ প্রভৃতি ভেক্টর রাশির দৃষ্টান্ত।

স্কেলার এবং ভেক্টর—উভয় রাশিকেই জ্যামিতিক উপায়ে সরলরেখাদ্বারা প্রকাশ করা যায়।

4. **স্কেলার রাশির প্রকাশ**—ভর একটি স্কেলার রাশি। একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের সরলরেখাদ্বারা আমরা 'একগ্রাম' ভর প্রকাশ করিতে পারি। ঐ দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ, তিনগুণ বা চারিগুণ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট সরলরেখা যথাক্রমে 2 গ্রাম, 3 গ্রাম ও 4 গ্রাম ভরপ্রকাশ করিবে। এই রেখাগুলির কেবল দৈর্ঘ্যই বিবেচ্য, অভিমুখিতা নহে, কারণ ভরের ক্ষেত্রে কোন্‌দিকে এই প্রশ্ন আসে না—কতখানি এই প্রশ্নই যথেষ্ট। সময়, দ্রুতি প্রভৃতি সম্বন্ধেও একথা প্রয়োজ্য।

১গ্রাম

২গ্রাম

৩গ্রাম

Fig. 33—স্কেলার রাশির প্রকাশ

5. স্কেলার রাশির সংযোজন (Addition of Scalar quantities)

একজাতীয় কতকগুলি স্কেলার রাশির যোগফল নির্ণয় করায় কোনও অসুবিধা নাই। প্রত্যেক রাশির পরিমাপসূচক সংখ্যা যোগ করিলে ঐ রাশিগুলির যোগফলের পরিমাপসূচক সংখ্যা পাওয়া যায়। যেমন,

7 গ্রাম + 9 গ্রাম + 15 গ্রাম = (7 + 9 + 15) গ্রাম = 31 গ্রাম।

6. ভেক্টর রাশির প্রকাশ—ভেক্টর রাশিকেও সরলরেখাদ্বারা প্রকাশ করা যায় কিন্তু সেই সরলরেখার অভিমুখিতা প্রকাশ করিবার নিমিত্ত তীর চিহ্ন (→) দিতে হয়।

চিত্রে AB, CD, EF, GH, IJ সরলরেখাগুলি একই দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট। আমরা যদি → চিহ্নিত AB রেখাদ্বারা পূর্বদিকে ঘণ্টায় 20 মাইল গতিবেগ প্রকাশ করি তাহা হইলে CD, EF, GH এবং IJ রেখাদ্বারা যথাক্রমে পূর্বদিকে ঘণ্টায় 20 মাইল, উত্তরদিকে ঘণ্টায় 20 মাইল, দক্ষিণদিকে ঘণ্টায় 20 মাইল ও উত্তর-পূর্বদিকে ঘণ্টায় 20 মাইল গতিবেগ প্রকাশিত হয়। গতিবেগের পরিমাণ ভিন্ন হইলে একই স্কেলে ভিন্ন দৈর্ঘ্যের রেখাদ্বারা গতিবেগ প্রকাশ করা যায়।

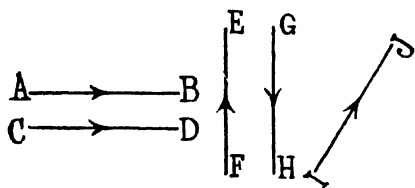



Fig. 34—ভেক্টর রাশির প্রকাশ

33নং চিত্রের দ্বারা আমরা একই পরিমাপের বিভিন্নমুখী 'বল'ও প্রকাশ করিতে পারি।

7 ভেক্টর রাশির সংযোজন ও লব্ধি নির্ণয় (Composition of Vectors—Finding the resultant)

যদি কতকগুলি ভেক্টর রাশির অভিমুখিতা অভিন্ন হয় তাহা হইলে স্কেলার রাশির মতই তাহাদের যোগফল নির্ণয় করা যায়। যেমন, মনে কর কোনও বিন্দুতে 5 পাউণ্ডাল, 10 পাউণ্ডাল ও 12 পাউণ্ডাল পৃথক্ পৃথক্ বল একই দিকে ক্রিয়া করিতেছে। এই বলগুলির সম্মিলিত বল বা লব্ধির (resultant) পরিমাণ হইবে (5 + 10 + 12) পাউণ্ডাল বা 27 পাউণ্ডাল।

35নং চিত্রে AB, CD, EF রেখাগুলিদ্বারা এই বলগুলি চিত্রিত হইয়াছে এই রেখাগুলি পরস্পর সংলগ্ন করিয়া একই সরলরেখায় স্থাপন করিলে যে রেখা হয় তাহার দৈর্ঘ্য 27 একক। ইহাই বলগুলির যোগফলের বা লব্ধির পরিমাণ।

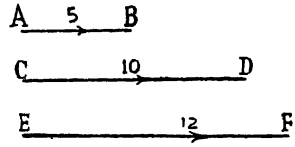



Fig 35—একই অভিমুখী ভেকটর রাশি

8. বিভিন্নমুখী ভেকৃটরের ফল বা লব্ধি

ভেকৃটর রাশিগুলি যদি বিভিন্নমুখী হয় তাহা হইলে এই উপায়ে তাহাদের যোগফল নির্ণয় করা যায় না। 'ভেকৃটর রাশির সামান্তরিক সূত্র'-সাহায্যে যে-কোনও দুইটি সমবিন্দু (concurrent) ভেকটর রাশির সম্মিলিত ফল নির্ণয় করা যায়। এই ফলকে ভেকৃটর রাশিদ্বয়ের **লব্ধি** বলে।

'বেগ' এবং 'বল' এই দুইটি ভেকৃটর রাশির ক্ষেত্রে এই সূত্র 'বেগের সামান্তরিক সূত্র' (parallelogram of velocities) এবং 'বলের সামান্তরিক সূত্র' (parallelogram of forces) নামে পরিচিত।

বেগের সামান্তরিক সূত্র

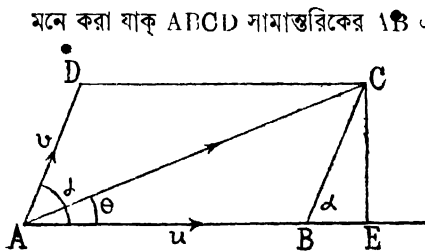
যদি একই বস্তু একই সময়ে দুইটি বিভিন্নমুখী বেগ সম্পন্ন হয় এবং যদি দুইটি বেগকে একটি সামান্তরিকের দুইটি সন্নিহিত বাহুদ্বারা, পরিমাণে এবং অভিমুখিতায় প্রকাশ করা যায় তাহা হইলে বাহুদ্বয়ের মিলনবিন্দু হইতে অঙ্কিত ঐ সামান্তরিকের কর্ণদ্বারা উহাদের সম্মিলিত ফল বা লব্ধি, পরিমাণে এবং অভিমুখিতায়, প্রকাশিত হয়।

মনে করা যাক্ ABCD সামান্তরিকের AB এবং AD বাহু একই বস্তুর দুইটি যুগপৎ বেগ u এবং v পরিমাণে ও অভিমুখিতায় প্রকাশ করে। ইহাদের লব্ধি নির্ণয় করিতে হইবে।

Fig 36

AC কর্ণ অঙ্কিত হইল। সামান্তরিক সূত্রানুসারে AB এবং AD দ্বারা চিত্রিত বেগদ্বয়ের লব্ধি AC কর্ণদ্বারা চিত্রিত হয়।

সুতরাং AC কর্ণই পরিমাণগতভাবে এবং অভিমুখিতায় u এবং v বেগদ্বয়ের লব্ধি V চিত্রিত করে।

মনে করা যাক বেগদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণ $\angle BAD=\alpha$

এবং AC ও AB এর মধ্যবর্তী কোণ $\angle CAB=\theta$.

বর্ধিত ABর উপর CE লম্ব টানা হইল।

এখন,

$$AC^2=AE^2+CE^2$$

$$=(AB+BE)^2+CE^2$$

$$=AB^2+2AB.BE+(BE^2+CE^2)$$

$$=AB^2+BC^2+2AB.BC.\frac{BE}{BC}$$

$$=AB^2+BC^2+2AB.BC\cos\alpha$$

বা $V^2=u^2+v^2+2uv\cos\alpha$

বা $V=\sqrt{u^2+v^2+2uv\cos\alpha}$ ... ... (1)

পুনরায়, $\tan\theta=\frac{CE}{AE}=\frac{BC.\frac{CE}{BC}}{AB+BC.\frac{BE}{BC}}=\frac{v\sin\alpha}{u+v\cos\alpha}$ ... (2)

(1) ও (2) সমীকরণের সাহায্যে u এবং v এর লব্ধির পরিমাণ ও অভিমুখিতা নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ ঃ—নদীতে স্রোত পশ্চিম হইতে পূর্বদিকে ঘণ্টায় 5 মাইল বেগে বহিতেছে। একটি ষ্টীমার উত্তরদিক্ হইতে সোজা দক্ষিণে ঘণ্টায় 12 মাইল বেগে নদী পার হইবার জন্য রওনা হইল। ষ্টীমারের সম্মিলিত বেগ নির্ণয় কর।

ষ্টীমারের সম্মিলিত বেগ দুইটি বেগের ফল। একটি পূর্বদিকে ঘণ্টায় 5 মাইল, অপরটি দক্ষিণ দিকে ঘণ্টায় 12 মাইল।

এখানে $u=12$, $v=5$, $\alpha=90$

$$\therefore\quad V=\sqrt{u^2+v^2+2uv\cos\alpha}=\sqrt{12^2+5^2+2.12.5.\cos 90^\circ}$$

$$=\sqrt{169}$$

$$=13$$

∴ স্টীমারের সম্মিলিত গতিবেগ ঘণ্টায় 13 মাইল। স্টীমারের বেগ পূর্বদিকের সহিত θ কোণ উৎপন্ন করিলে

$$\tan\theta=\frac{5\sin 90^\circ}{12+5\cos 90}=\frac{5}{12}$$

$$\theta=\tan^{-1}\frac{5}{12}$$

9. **বলের সামান্তরিক সূত্র**—যদি একই বস্তুর উপর যুগপৎ প্রযুক্ত দুইটি বল, পরিমাণে ও অভিমুখিতায়, একটি সামান্তরিকের দুইটি সন্নিহিত বাহুদ্বারা চিত্রিত করা যায় তাহা হইলে ঐ বাহুদ্বয়ের মিলনবিন্দু হইতে অঙ্কিত কর্ণদ্বারা উহাদের লব্ধি, পরিমাণে ও অভিমুখিতায়, চিত্রিত হয়।

উপরে বেগের ক্ষেত্রে যেমনভাবে দেখান হইয়াছে তেমনভাবে বলের ক্ষেত্রেও দেখান যায় যে যদি P এবং Q দুইটি বল একই বিন্দুতে প্রযুক্ত হয় এবং যদি উহাদের ক্রিয়ারেখাদ্বয়ের অন্তর্গত কোণের পরিমাণ α হয় তাহা হইলে উহাদের ফল R, পরিমাণে ও অভিমুখিতায়, নিম্ন সমীকরণদ্বয় হইতে নির্ণয় করা যায় :—

$$R=\sqrt{P^2+Q^2+2PQ\cos\alpha}$$

$$\tan\theta=\frac{Q\sin\alpha}{P+Q\cos\alpha}$$

লক্ষ্য কর, $\alpha=0$ হইলে বলদ্বয় একই অভিমুখী হয় এবং উহাদের ফল

$$R=\sqrt{P^2+Q^2+2PQ}=P+Q$$

$\alpha=90^\circ$ হইলে, $R=\sqrt{P^2+Q^2}$

$$\tan\theta=\frac{Q}{P}.$$

10. বলের ভ্রামক (Momnet of a force)

আমরা আবর্তন গতির কথা আলোচনা করিয়াছি। কোনও বস্তুর আবর্তন উৎপন্ন করিবার নিমিত্ত **বল** প্রয়োগের প্রয়োজন হয়। কোনও 'বলে'র আবর্তন উৎপন্ন করিবার ক্ষমতার পরিমাপ হয় **বলের ভ্রামক** দ্বারা। বলের পরিমাণ এবং বলের ক্রিয়ারেখা (line of action) হইতে আবর্তিত বস্তুর অক্ষের লম্ব-দুরত্বের গুণফলকে **বলের ভ্রামক** বলে। যদি বলের পরিমাণ P হয় এবং ইহার ক্রিয়ারেখা হইতে কোনও অক্ষের লম্বদুরত্ব p হয় তাহা হইলে ঐ অক্ষের চারিদিকে (about the axis) বলের ভ্রামক = Pp। ইহা একটি ভেক্টর রাশি কারণ ঘূর্ণনের নির্দিষ্ট পরিমাণ এবং দিক্ আছে।

11. সমান্তরাল বল (Parallel forces)

যে সকল 'বলে'র ক্রিযারেখা সমান্তরাল তাহাদিগকে **সমান্তরাল বল** বলে। কতকগুলি সমান্তরাল বলের লব্ধি তাহাদের বীজগণিতীয় যোগফলের (algebraic sum) সমান।

দুইটি সমান্তরাল বল যদি একমুখী হয়, তাহাদিগকে **সদৃশ সমান্তরাল বল** (like parallel forces) বলে এবং দুইটি সমান্তরাল বল যদি বিপরীতমুখী হয়, তাহাদিগকে অসদৃশ সমান্তরাল বল (unlike parallel forces) বলে।

12. দ্বন্দ্ব (Couple)

দুইটি সমান ও সমান্তরাল বল যদি বিপরীতমুখী হয়, তাহারা একটি দ্বন্দ্ব বা কাপ্‌ল্ গঠন করে। ইহাদের লব্ধি শূন্য হয় না কারণ একটি দ্বন্দ্ব কোনও বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে বস্তুটির আবর্তন গতি উৎপন্ন হয়। দ্বন্দ্বের আবর্তন উৎপন্ন করিবার ক্ষমতার পরিমাপ হয় **দ্বন্দ্বের ভ্রামক** (moment of a couple) দ্বারা। বলদ্বয়ের যে-কোনও একটির পরিমাণ এবং উহাদের ক্রিয়ারেখার মধ্যে লম্ব-দূরত্বের গুণফলকে দ্বন্দ্বের ভ্রামক বলে। ইহাও একটি ভেক্টর রাশি।

13. বলের সাম্যাবস্থা (Forces in equilibrium)

কতকগুলি বিভিন্ন বলের লব্ধির মান যদি শূন্য (0) হয় তাহা হইলে বলা হয় যে বলগুলি সাম্যাবস্থায় রহিয়াছে।

14. ভেক্টর রাশির সংযোজন ও বিভক্তাংশ নির্ণয়

একজাতীয় বহু ভেক্টর রাশির ফল বা লব্ধি নির্ণয় করাকে ভেক্টর রাশির সংযোজন বলে। দুইটি ভেক্টর রাশির ফল সামান্তরিক সূত্রানুসারে নির্ণয় করা যায়। দুইয়ের অধিক ভেক্টর থাকিলে প্রথমে দুইটির ফল নির্ণয় করিয়া সেই ফল ও তৃতীয় রাশির ফল নির্ণয় করা যায়। এই ফলের সহিত চতুর্থ ভেক্টর যোগ করিয়া আর একটি ফল পাওয়া যায়। এই ভাবে একে একে সব ভেক্টরগুলি যোগ করা যায়।

যদি p, q, r, s প্রভৃতি কতকগুলি ভেক্টরের ফল R হয় তাহা হইলে p, q, r, s প্রভৃতি ভেক্টরগুলিকে R ভেক্টরের উপাংশ (component) বলা যায়।

আবার যে-কোনও ভেক্টরের কোনও নির্দিষ্ট দিকে উপাংশ নির্ণয় করা যায়। এইরূপ অংশ নির্ণয় করাকে ভেক্টরের বিভাজন বা বিভক্তাংশ নির্ণয় করা বলে।

15. কোনও নির্দিষ্ট দিকে একটি ভেক্টরের উপাংশ বা বিভক্তাংশ নির্ণয়

মনে কর OA একটি ভেক্টর। O বিন্দুর ভিতর দিয়া অঙ্কিত OX একটি সরলরেখা। OA OX-এর সহিত θ কোণ উৎপন্ন করে।

OX রেখা বরাবর OA ভেক্টরের বিভক্তাংশ নির্ণয় করিতে হইবে।

A বিন্দু হইতে OX-এর উপর AB লম্ব টান। OB রেখাই OX রেখা বরাবর OA ভেক্টরের বিভক্তাংশ— পরিমাণে ও অভিমুখিতায়।

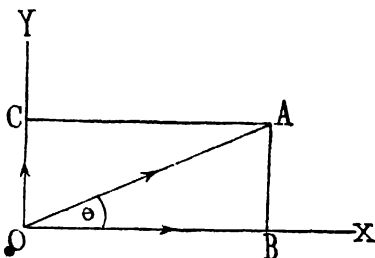



Fig 37—ভেক্টরের বিভক্তাংশ নির্ণয়

$$OB = OA \times \frac{OB}{OA} = OA \cos \theta.$$

অর্থাৎ OA ভেক্টরের OX-এর দিকে কার্যকরী অংশের পরিমাণ OA $\cos \theta$.

দেখান যাইতে পারে যে OX-এর সমকোণে OA ভেক্টরের বিভক্তাংশ = OA $\sin \theta$.

OX-এর সহিত সমকোণে OY অঙ্কিত কর। OY-এর উপর AC লম্ব টান। OC সরলরেখাই OY বরাবর OA ভেক্টরের বিভক্তাংশ নির্দেশ করে।

স্পষ্টতঃই $OC = OA. \frac{OC}{OA} = OA \sin \theta.$

লক্ষ্য কর, ভেক্টর সামান্তরিকের সূত্র অনুসারে OB এবং OC ভেক্টরের লব্ধি = OBAC আয়তক্ষেত্রের কর্ণ OA এবং $OA^2 = OB^2 + OC^2$.

Fig 38

উদাহরণ : OA নততলের উপর অবস্থিত S একটি m-গ্রাম ভর বিশিষ্ট বস্তু। AO নততল বরাবর ইহার অভিকর্ষজ ত্বরণ নির্ণয় কর।

ধরা যাক OA নততলের নতির পরিমাণ θ.

S বস্তুর ভার W = mg. এই ভার S বস্তুর কেন্দ্রের উপর উল্লম্বভাবে নীচের দিকে প্রযুক্ত হয়। কিন্তু বস্তুটি নততলের উপর অবস্থিত বলিয়া ইহার ভার ইহাকে উল্লম্বভাবে নীচের দিকে নামাইতে পারে না—ইহা নততল বাহিয়া নামে।

নততল বরাবর ভারের কার্যকরী অংশ

= AO বরাবর ভারের বিভক্তাংশ

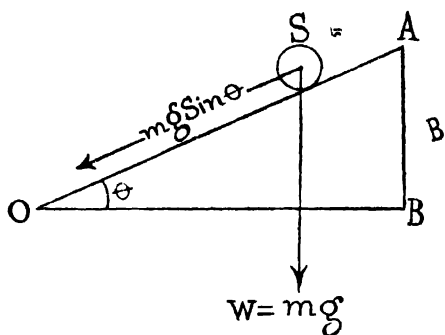
$= mg \cos (90° - \theta)$

$= mg \sin \theta$

∴ নততল বরাবর বস্তুটির ত্বরণ

$$= \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \frac{mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta.$$

অর্থাৎ নততল বরাবর বস্তুটির ত্বরণ

= নততল বরাবর বস্তুটির উপর অভিকর্ষজ ত্বরণের বিভক্তাংশ।

16. কতিপয় বিশেষ ক্ষেত্রে বিভক্তাংশ

আমরা দেখিয়াছি যে, কোনও ভেক্টর P-এর ইহার সহিত θ কোণ উৎপন্ন করে এমন কোনও দিকে বিভক্তাংশ $= P \cos \theta$.

$\theta = 0°$ হইলে, বিভক্তাংশ $= P \cos \theta = P$, অর্থাৎ বিভক্তাংশ ভেক্টরের সমান।

$\theta = 90°$ হইলে, বিভক্তাংশ $= P \cos 90° = 0$, অর্থাৎ কোনও ভেক্টরের লম্ব বরাবর উহার কোনও বিভক্তাংশ থাকে না।

অনুশীলনী

1. Define a vector and a scalar quantity. Give examples. Point out which of the following physical quantities are vector or scalar :— mass, momentum, time, velocity, acceleration, speed, displacement, force.

   ভেকটর এবং স্কেলার রাশির সংজ্ঞা লিখ এবং দৃষ্টান্ত দাও।

   নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোন্‌গুলি ভেক্টর এবং কোন্‌গুলি স্কেলার তাহা নির্দেশ কর :—

   ভর, ভরবেগ, সময়, বেগ, ত্বরণ, দ্রুতি, সরণ, বল।

2. State and explain the law of parallelogram of forces.
   Two forces, 12 poundals and 15 poundals respectively act at a point at an angle of 60°. Find the magnitude and direction of their resultant.

   বলের সামান্তরিক সূত্র লিখ এবং ব্যাখ্যা কর।

   12 পাউণ্ডাল এবং 15 পাউণ্ডাল পরিমিত বল একটি বিন্দুতে পরস্পরের সহিত 60° কোণ করিয়া প্রযুক্ত হইয়াছে। উহাদের লব্ধির মান ও দিক্‌ নির্ণয় কর।

3. What is a resultant ? How can the resultant of several vectors meeting at a point be determined ?
   Explain what is meant by the component of a vector and the resolved part of a vector. What is the rule of finding the resolved part of a vector in a given direction ?

   লব্ধি কাহাকে বলে ? একই বিন্দুতে মিলিত কতকগুলি ভেক্টর রাশির লব্ধি কিভাবে নির্ণয় করা যায় ?

   কোনও ভেক্টর রাশির উপাংশ এবং বিভক্তাংশ কাহাকে বলে ? কোনও নির্দিষ্ট দিকে বিভক্তাংশ নির্ণয় করিবার উপায় কি ?

4. State the law of parallelogram of velocities. If a particle simultaneously possesses two velocities u and v in two directions making an angle α with each other, find its resultant velocity in magnitude and direction.

বেগের সামান্তরিক সূত্র লিখ।

যদি কোনও বিন্দু একই সময়ে পরস্পরের সহিত α কোণে দুই দিকে যথাক্রমে u এবং v বেগ বিশিষ্ট হয় তাহা হইলে বিন্দুটির লব্ধিবেগের মান ও দিক্ নির্ণয় কর।

5. A boat starts northward with a velocity of 4 miles per hour and is drifted westward by the current at the rate 3 miles per hour. Find the time the boat will take to reach the opposite bank if the width of the river is 1 mile.

একটি নৌকা ঘণ্টায় 4 মাইল বেগে উত্তর দিকে রওনা হইল কিন্তু স্রোতের বেগে ঘণ্টায় 3 মাইল বেগে পশ্চিমদিকে যাইতে লাগিল। যদি নদীটি 1 মাইল চওড়া হয় তাহা হইলে ওপারে পৌঁছিতে নৌকার কতক্ষণ লাগিবে ?

6. How long will a body take to roll down a smooth plane inclined at an angle of 30° with the horizontal ? The length of the plane is 32 ft ($g=32$ ft/sec^2)

কোনও মসৃণ নততল অনুভূমিকের সহিত 30° কোণে অবস্থিত। যদি নততলের দৈর্ঘ্য 32 ফুট হয় তাহা হইলে কোনও বস্তুর নততলের উপর হইতে নীচ অবধি গড়াইয়া আসিতে কত সময় লাগিবে ? ($g=32$ ft/sec^2.)

7. Find the velocity acquired by a body sliding down a smooth 18 ft. plane inclined at an angle of 30 with the horizontal.

18 ফুট দীর্ঘ একটি মসৃণ নততলের উপর হইতে কোনও বস্তুকে নততল বরাবর ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যদি নততলের অনুভূমিকের সহিত নতির পরিমাণ 30° হয় তাহা হইলে নততলের শেষপ্রান্তে পৌঁছিলে বস্তুটির বেগ কত হইবে ?

ষষ্ঠ অধ্যায়

কার্য, শক্তি ও ক্ষমতা

1. কার্য

আমরা সাধারণ ভাষায় কর্ম এবং কার্য শব্দ একই অর্থে ব্যবহার করি এবং পরিশ্রম করিয়া কিছু করাকেই কার্য বলি। পদার্থবিজ্ঞানে কার্য শব্দটি আরও সঙ্কীর্ণ অর্থে ব্যবহৃত হয়। এখানে 'কার্য' বলিতে বলপ্রয়োগ দ্বারা কোনও কিছুকে স্থানচ্যুত করা বুঝায়। মনুষ্য এবং পশুজীবনে কার্যের আমরা অনেক দৃষ্টান্ত দেখি। মানুষ মোট বহে, কোদাল দিয়া মাটি কাটে, দাঁড় বাহিয়া নৌকা চালায়, হাতুড়ি পিটায়, খনি হইতে কয়লা তোলে—এই সবই কার্য। আবার মানুষ নিজ শ্রম লাঘবের জন্য ও সুবিধার জন্য অনেক প্রাণিদ্বারা কার্য করায়। যেমন ঘোড়া গাড়ি টানে, চাষীর বলদ লাঙ্গল টানে, কলুর বলদ ঘানি ঘুরায়, গাধা বা খচ্চর ধোপার কাপড়ের বোঝা বয়। সভ্যতার উন্নতির সঙ্গে সঙ্গে মানুষ কার্য করিবার জন্য ক্রমশ দৈহিক শ্রম অথবা পশুর ব্যবহারের পরিবর্তে যন্ত্রের ব্যবহার শিখিয়াছে।

উপরের দৃষ্টান্তগুলিতে প্রতি ক্ষেত্রেই বলের সাহায্যে কোনও কিছুকে স্থানান্তরিত করিবার ঘটনা রহিয়াছে। পদার্থবিজ্ঞানে ইহাকেই কার্য বলে অর্থাৎ বল প্রযোগে কোনও কিছুকে স্থানচ্যুত করাকেই কায বলে। শুধু বল প্রয়োগ কবিলেই কার্য হয় না। মাটিতে একটি ভারী পাথর পডিয়া আছে, অনেক টানাটানি কবিয়াও সেটিকে নড়ান গেল না। এক্ষেত্রে বল প্রযোগ হইল, পরিশ্রম হইল কিন্তু কায হইল না।

কার্যের পরিমাণ হয প্রযুক্ত বলের পরিমাণ এবং বল যে দূরত্ব ব্যাপিয়া কাযকরা হয় তাহার গুণফল দ্বারা।

অর্থাৎ কার্য = প্রযুক্ত বল × বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ।

2. কার্য কে করে ?

বলদ্বারা 'কার্য' হয়। সময় সময বলের বিরুদ্ধেও কায হয়।

বলের অভিমুখে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ (displacement) হয় তাহা হইলে আমরা বলি 'বল কার্য করিয়াছে'। আর যদি বলের বিপরীত অভিমুখে

বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ হয় তাহা হইলে আমরা বলি বলের বিরুদ্ধে 'কার্য' হইয়াছে। নীচের দুইটি দৃষ্টান্ত হইতে একথা আরও ভালভাবে বুঝা যাইবে।

মনে কর মাটি হইতে 10 ফুট উঁচুতে একটি 2 পাউণ্ড ভরের বস্তু সূতার সাহায্যে ঝুলিতেছে। বস্তুটির উপর অভিকর্ষজ বল অর্থাৎ বস্তুটির ভার নিম্নাভিমুখী। এই বলের পরিমাণ 2 × 32 বা 64 পাউণ্ডাল ৷৷ সূতা কাটিয়া দিলে বস্তুটি সোজা নীচের দিকে অর্থাৎ বলের অভিমুখে 10 ফুট পড়িবে।

সুতরাং অভিকর্ষজ বল অর্থাৎ বস্তুটির ভারদ্বারা কৃত

কার্যের পরিমাণ = 64 পাউণ্ডাল × 10 ফুট
= 640 ফুট পাউণ্ডাল।

এখন মনে কর পাথরের টুকরাটিকে পুনরায় 10 ফুট উপরে তোলা হইল। তুলিতে হইলে বলটির ভারের বা অভিকর্ষজ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে এবং এই ক্ষেত্রে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কৃত

কার্যের পরিমাণ = 64 পাউণ্ডাল × 10 ফুট
= 640 ফুট পাউণ্ডাল।

3. কার্যের বিভিন্ন একক (Units of work)

(1) পরম একক (Absolute unit)

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক **1 ফুট পাউণ্ডাল**। এক পাউণ্ডাল বলের প্রয়োগে বলের প্রয়োগ বিন্দু বলের অভিমুখে একফুট সরিলে যে কার্য হয় তাহার পরিমাণ এক ফুট পাউণ্ডাল।

1 ফুট পাউণ্ডাল = 1 পাউণ্ডাল × 1 ফুট।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক **1 আর্গ**। এক ডাইন বলের প্রয়োগে বলের প্রয়োগ বিন্দু বলের অভিমুখে এক সেন্টিমিটার সরিলে যে কার্য হয় তাহার পরিমাণ এক-ডাইন সেন্টিমিটার বা এক আর্গ।

1 আর্গ = 1 ডাইন × 1 সে. মি.

(2) **আভিকর্ষিক একক (Gravitational unit)**—এই একক অভিকর্ষজ বলের উপর প্রতিষ্ঠিত।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের আভিকর্ষিক একক **এক ফুট-পাউণ্ড**। এক পাউণ্ড ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে একফুট ঊর্ধ্বে তুলিতে যে কার্য হয় তাহার পরিমাণ এক ফুট-পাউণ্ড।

1 ফুট-পাউণ্ড $=g$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=32$ ফুট-পাউণ্ডাল।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের আভিকর্ষিক একক এক **গ্রাম-সেণ্টিমিটার**। এক গ্রাম ভর সম্পন্ন কোনও বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেণ্টিমিটার ঊর্ধ্বে তুলিতে যে কার্য হয় তাহার পরিমাণ এক গ্রাম-সেণ্টিমিটার।

1 গ্রাম-সেণ্টিমিটার $=g$ আর্গ $=981$ আর্গ।

(3) **ব্যবহারিক একক (Practical unit)**

সি. জি এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক 'আর্গ' অত্যন্ত ক্ষুদ্র একক। এজন্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আর একটি বড় একক ব্যবহৃত হয়। এই এককের নাম **জুল** (Joule)।

1 জুল $=10^7$ আর্গ।

4. বিভিন্ন এককের সম্পর্ক

1 ফুট-পাউণ্ডাল $=1$ পাউণ্ডাল $\times 1$ ফুট

$=1$ পাউণ্ড $\times 1$ ফুট/সেকেণ্ড$^2 \times 1$ ফুট

$=453{\cdot}6$ গ্রাম $\times 30{\cdot}48$ সে. মি./সেকেণ্ড$^2 \times 30{\cdot}48$ সে.মি.

$=453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48$ ডাইন $\times 30{\cdot}48$ সে. মি.

$=453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \times 30{\cdot}48$ আর্গ

$=4{\cdot}214 \times 10^5$ আর্গ।

1 ফুট-পাউণ্ড $=32$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=32$ ফুট $\times 4{\cdot}214 \times 10^5$ আর্গ

$=1{\cdot}35$ জুল।

5. শক্তি (Energy)

'কার্য' শব্দটির সহিত আরেকটি শব্দের নিবিড় সম্পর্ক রহিয়াছে। তাহা হইল 'শক্তি' (energy)। বিনা শক্তিতে কার্য হয় না, কারণ বল প্রয়োগের জন্য শক্তির প্রয়োজন হয় অর্থাৎ শক্তি ব্যয় করিয়া কার্য করিতে হয়। কার্য

করিবার যোগ্যতাকে (capacity) বলা হয় শক্তি এবং কার্যের পরিমাপ দ্বারাই শক্তির পরিমাপ হয়। যতখানি কার্য হয় ততখানি শক্তি ব্যয়িত হয়। 'কার্য' এবং 'শক্তি' একই এককে মাপা হয়।

মনে কর 20 পাউণ্ড পাথরকে 10 ফুট উঁচুতে তোলা হইল। বিনা শক্তি ব্যয়ে ইহা সম্ভব নহে।

ইহার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি

= অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কৃত কার্য

= 20 পাউণ্ড × 10 ফুট

= 200 ফুট-পাউণ্ড।

এই পরিমাণ শক্তি উঁচুতে তোলা পাথরে সঞ্চিত থাকে। পাথরটি যখন পুনরায় 10 ফুট নীচে পড়ে তখন অভিকর্ষ 200 ফুট-পাউণ্ড কার্য করে এবং এই পরিমাণ সঞ্চিত শক্তি ব্যয়িত হয়।

আবার যে শক্তি ব্যয়ে 20 পাউণ্ড পাথরকে 10 ফুট তোলা যায় সেই শক্তি ব্যয়ে 20 পাউণ্ড পাথরকে 20 ফুট তোলা যাইবে না অথবা 40 পাউণ্ড পাথরকে 10 ফুট তোলা যাইবে না। শেষোক্ত উভয় ক্ষেত্রেই প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ 400 ফুট-পাউণ্ড অর্থাৎ পূর্বশক্তির দ্বিগুণ।

মানুষ বা প্রাণীর দৈহিক শক্তির উপর তাহার কার্য করিবার ক্ষমতা নির্ভর করে। দৈহিক শক্তি প্রধানতঃ পেশীর শক্তি (muscular energy)। খাদ্য ও পুষ্টির ফলে এই শক্তি দেহে সঞ্চিত হয়।

শক্তি কেবলমাত্র প্রাণিদেহেই সঞ্চিত হয় না। জড়-পদার্থেও অবস্থা-বিশেষে শক্তি সঞ্চিত হয়। উপরে উল্লিখিত পাথরের দৃষ্টান্তে আমরা ইহা দেখিয়াছি। মাটিতে একটি পাথর পড়িয়া আছে। বস্তুতঃ ইহার নিজের নড়িবার বা অন্য কিছুকে নড়াইবার ক্ষমতা নাই, অর্থাৎ ইহার কোনও শক্তি নাই। কিন্তু ইহাকে 10 ফুট উঁচুতে তুলিয়া দাও, তখন ইহার মধ্যে কায করিবার ক্ষমতা সঞ্চিত হইবে। কারণ ইহার ভারের জন্য ইহা 10 ফুট নীচে পড়িবে। ইহার সঙ্গে সুতা দিয়া বাঁধিয়া দিলে কপিকলের সাহায্যে ইহা অন্য পদার্থকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে টানিয়া তুলিতেও পারিবে।

ঘড়িতে দম দিলে উহার স্প্রিংয়ে শক্তি সঞ্চিত হয়। সেই শক্তি ব্যয় হইতে থাকে আর ঘড়ির কাঁটা সরিতে থাকে।

6. শক্তির বিভিন্ন রূপ (Different forms of energy)

প্রকৃতিতে শক্তির প্রকাশ আমরা বিভিন্নরূপে দেখিতে পাই। বিজ্ঞানের উন্নতির ফলে মানুষ কৃত্রিম উপায়েও পদার্থে বিভিন্নরূপে শক্তি সঞ্চারিত করিতে শিখিয়াছে। শক্তির যে সকল রূপের সহিত আমরা প্রধানতঃ পরিচিত তাহারা এই—

(1) যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy)
(2) তাপ শক্তি (heat energy)
(3) আলোক শক্তি (light energy)
(4) শব্দ শক্তি (sound energy)
(5) চৌম্বক শক্তি (magnetic energy)
(6) তড়িৎ শক্তি (electrical energy)
(7) রাসায়নিক শক্তি (chemical energy)
(8) পারমাণবিক শক্তি (atomic energy)

দৈহিক শক্তির সহিত আমরা সর্বাপেক্ষা বেশী পরিচিত। কিন্তু দৈহিক শক্তির প্রকাশ আমরা প্রধানতঃ যান্ত্রিক শক্তিরূপেই দেখিতে পাই।

আমরা এখানে প্রধানতঃ যান্ত্রিক শক্তি সম্বন্ধে আলোচনা করিব। যান্ত্রিক শক্তি নিম্নলিখিত দুইরূপে আমাদের নিকট প্রকাশিত, যথা—

(1) স্থৈতিক শক্তি (Potential energy)
(2) গতীয় শক্তি (Kinetic energy)

7. স্থৈতিক শক্তি (Potential energy)

বস্তুর অবস্থান হেতু ও আকৃতিগত পরিবর্তন হেতু উহাতে যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহাকে **স্থৈতিক শক্তি** বলে। 82 পৃষ্ঠায় যে শক্তির দৃষ্টান্ত দেওয়া হইযাছে তাহা স্থৈতিক শক্তি। পাথরের টুকরাকে মাটি হইতে উপরে তুলিলে উহার মধ্যে যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহা অবস্থানগত স্থৈতিক শক্তি। ঘড়িতে দম দিলে স্প্রিংয়ে যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহা আকৃতির পরিবর্তনগত স্থৈতিক শক্তির উদাহরণ। ধনুকের জ্যা ধরিয়া টানিলে জ্যার মধ্যে স্থৈতিক

শক্তি সঞ্চারিত হয়। এই শক্তিই ধনুক হইতে তীরকে সজোরে নিক্ষেপ করে। সাধারণতঃ দেখা যায় কোনও বস্তুকে তাহার স্বাভাবিক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় বলপূর্বক লইয়া গেলে উহার মধ্যে কিছু শক্তি সঞ্চিত হয়। ঐ শক্তিই স্থৈতিক শক্তি। পুনরায় উহা স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসিলে ঐ শক্তি রূপান্তরিত হয়।

৪. আভিকর্ষিক স্থৈতিক শক্তি (Gravitational Potential energy)

ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় অবস্থিত m ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুর আভিকর্ষিক স্থৈতিক শক্তি = mgh।

কোনও বস্তুর আভিকর্ষিক স্থৈতিক শক্তি বলিতে ঐ বস্তুর উপর অভিকর্ষের প্রভাবে কি পরিমাণ কার্য হইতে পারে তাহাই বুঝায়।

মনে কর m ভর বিশিষ্ট একটি বস্তু ভূপৃষ্ঠের উপর Bতে অবস্থিত আছে। এই অবস্থায় ইহার স্থৈতিক শক্তি শূন্য (0) ধরা হয়, কারণ অভিকর্ষ ইহাকে আর নীচে নামাইতে পারে না; সুতরাং কার্যও হয় না।

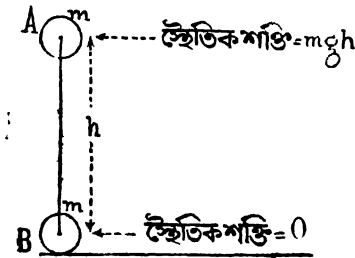



Fig 39

বস্তুটির উপর অভিকর্ষের পরিমাণ = ইহার ভার = mg।

∴ ইহাকে h উচ্চতায় A অবস্থান অবধি তুলিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কৃত কার্যের পরিমাণ = mgh।

অর্থাৎ h উচ্চতা অবধি তুলিতে ব্যয়িত শক্তির পরিমাণ = mgh। এই শক্তি ইহার স্থৈতিক শক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে,

অর্থাৎ h উচ্চতায় বস্তুটির আভিকর্ষিক স্থৈতিক শক্তি = mgh।

বস্তুটি উপর হইতে যত নীচে পড়িতে থাকে, ইহার স্থৈতিক শক্তি তত কমিতে থাকে। ভূপৃষ্ঠে পড়িলে ইহার স্থৈতিক শক্তি শূন্য হয়।

ইহার A অবস্থান হইতে B অবস্থানে পতনে অভিকর্ষ কর্তৃক কৃত কার্যের পরিমাণ = mgh। অর্থাৎ স্থৈতিক শক্তি সম্পূর্ণরূপে কার্যে পরিণত হইয়াছে।

9. গতীয় শক্তি (Kinetic energy)

কোনও গতিশীল বস্তু উহার গতি হেতু যে শক্তির অধিকারী হয় তাহাকে **গতীয় শক্তি** বলে। কোনও রোধের (resistance) প্রয়োগে গতি সম্পূর্ণ বিনষ্ট হইবার পূর্বে রোধের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কার্য হয় তাহা দ্বারাই গতীয় শক্তির পরিমাপ হয়। গতি-যে বস্তুকে শক্তি প্রদান করে তাহার অনেক দৃষ্টান্ত দেওয়া যাইতে পারে।

(1) বায়ুপ্রবাহের গতীয় শক্তির ব্যবহার দ্বারা পাল খাটাইয়া নৌকা চালান হয়, ঘুড়ি ওড়ান হয়। উইণ্ডমিল (Wind-mill) নামক যন্ত্রে বায়ুপ্রবাহের গতীয় শক্তির সাহায্যে কলের চাকা ঘোরান হয়।

(2) জলপ্রবাহ আপন গতীয় শক্তির জন্য বড় বড় পদার্থকে স্থানচ্যুত করিতে পারে। জলের ঢেউ তীরে আঘাত করিয়া তীর ভাঙ্গিয়া ফেলে।

(3) বন্দুকের গুলি প্রচণ্ড গতির জন্যই তীব্রশক্তিসম্পন্ন হইয়া কঠিন পদার্থ ভেদ করিয়া যাইতে পারে। স্থির অবস্থায় গুলির এই শক্তি থাকে না।

10. v বেগে চলমান m ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুর গতীয় শক্তি = $\frac{1}{2}mv^2$।

মনে করা যাক্ কোন একটি বস্তুর ভর m এবং গতিবেগ v। উহার বেগের বিপরীতমুখী একটি বল P প্রযুক্ত হওয়ায় উহাতে f মন্দন উৎপন্ন হইল এবং ফলে s দূরত্ব অতিক্রম করিতে করিতে উহা থামিয়া গেল।

সুতরাং রোধ P এর বিরুদ্ধে কৃত কার্যের পরিমাণ = P.s

∴ ঐ বস্তুটির গতীয় শক্তির পরিমাণ = P.s

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী,

$$P = mf$$

এবং গতি সমীকরণানুসারে

$$v^2 = 2fs$$

$$\text{বা } f = \frac{v^2}{2s}$$

$$\therefore \text{ গতীয় শক্তি} = P.s = mf.s = m.\frac{v^2}{2s}.s = \frac{1}{2}mv^2$$

ভর = m গ্রাম

বেগ = v সে. মি./সেকেণ্ড হইলে

গতীয় শক্তি = $\frac{1}{2}mv^2$ আর্গ।

এবং ভর = m পাউণ্ড

বেগ = v ফুট/সেকেণ্ড হইলে

গতীয় শক্তি = $\frac{1}{2}mv^2$ ফুট-পাউণ্ডাল।

11. শক্তির অবিনাশিতা ও শক্তির রূপান্তর

শক্তির অবিনাশিতা পদার্থবিজ্ঞানের একটি মৌলিক নীতি বলিয়া বহুদিন যাবৎ স্বীকৃত হইয়া আসিয়াছে। এই নীতির মূলকথা হইল যে বিশ্বব্রহ্মাণ্ডে মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট—হ্রাসও হয় না, বৃদ্ধিও হয় না। আমরা চেষ্টা করিয়া নূতন শক্তির সৃষ্টিও করিতে পারি না বা শক্তি ধ্বংসও করিতে পারি না। আপাত দৃষ্টিতে যাহা শক্তির ধ্বংস বা সৃষ্টি বলিয়া মনে হয় তাহা প্রকৃত পক্ষে শক্তির রূপান্তর।

যান্ত্রিক শক্তি, তাপশক্তি, আলোকশক্তি, বিদ্যুৎশক্তি প্রভৃতি শক্তির বিভিন্ন রূপের কথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। এই সকল শক্তি সর্বদাই এক রূপ হইতে অন্য রূপে পরিবর্তিত হইতেছে। প্রকৃতপক্ষে প্রকৃতিতে বিভিন্ন পরিবর্তনের ভিতর দিয়া আমরা নিয়তই শক্তির রূপান্তরের দৃষ্টান্ত দেখিতে পাই। শক্তির রূপান্তর বুঝিবার জন্য কতিপয় দৃষ্টান্তের উল্লেখ করা যাইতে পারে।

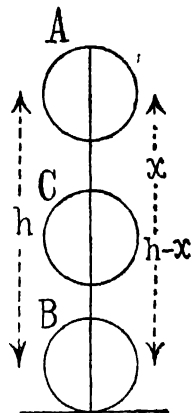
কয়লা জ্বালিয়া আমরা তাপশক্তি পাই। এখানে কয়লার সহিত অক্সিজেনের রাসায়নিক সংযোগের ফলে কয়লার অন্তর্নিহিত রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে পরিণত হয়। তাপশক্তি দ্বারা স্টীম-এঞ্জিনের বয়লারে জল বাষ্প হয়, বাষ্পের চাপে পিস্টন সঞ্চালিত হয় এবং কলের চাকা ঘোরে। ইহা তাপশক্তির যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। স্টীম-এঞ্জিন দ্বারা ডায়নামোর চাকা ঘোরে, ফলে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়! ইহা যান্ত্রিক শক্তির বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। এই বিদ্যুৎশক্তি ইলেকট্রিক বাল্বের তারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া তাপ ও আলোক-শক্তিতে রূপান্তরিত হয; বৈদ্যুতিক পাখার আর্মেচারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়; বৈদ্যুতিক ইস্ত্রি বা চুল্লীর ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইবার সময় তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

বহুস্থানে স্বাভাবিক জলপ্রপাতের অথবা কৃত্রিম জলপ্রপাত সৃষ্টি করিয়া জলের গতীয় শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে এবং তাহা হইতে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হইয়াছে। এই ব্যবস্থা হাইড্রো-ইলেকট্রিক্ স্কীম নামে পরিচিত।

Fig 40

12. অভিকর্ষের ফলে পড়ন্ত বস্তুর গতীয় শক্তি ও স্থৈতিক শক্তির নিত্যতা

অভিকর্ষের ফলে পড়ন্ত বস্তুর গতীয় শক্তি এবং স্থৈতিক শক্তির নিত্যতা যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতার দৃষ্টান্ত।

মনে কর ভূমি হইতে h উচ্চতায় A অবস্থানে m ভর বিশিষ্ট একটি বস্তু রহিয়াছে। ছাড়িয়া দিলে অভিকর্ষের টানে উহা উল্লম্বভাবে নীচের দিকে পড়িতে থাকিবে। মনে করা যাক পড়ার পথে C যে-কোনও একটি অবস্থান এবং $AC = x$।

$\therefore$ A অবস্থানে বস্তুটির স্থৈতিক শক্তি $= mgh$

এবং গতীয় শক্তি $= 0$

$\therefore$ A অবস্থানে মোট যান্ত্রিক শক্তি

$=$ স্থৈতিক শক্তি $+$ গতীয় শক্তি $= mgh$

C অবস্থানে বস্তুটির গতিবেগ v হইলে,

$$v^2 = 2gx$$

$\therefore$ C অবস্থানে বস্তুটির গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}m.2gx = mgx$$

এবং স্থৈতিক শক্তি $= mg(h-x)$

$\therefore$ C অবস্থানে মোট যান্ত্রিক শক্তি $=$ গতীয় শক্তি $+$ স্থৈতিক শক্তি

$$= mgx + mg(h-x)$$

$$= mgh$$

$=$ A অবস্থানে মোট যান্ত্রিক শক্তি।

অতএব আমরা বলিতে পারি পড়ন্ত বস্তুটির গতীয় শক্তি এবং স্থৈতিক শক্তির সমষ্টি সর্বদা সমান। যত নীচে পড়ে, বস্তুটির গতীয় শক্তি বাড়ে এবং স্থৈতিক শক্তি কমে কিন্তু উভয়ের সমষ্টি একই থাকে। বস্তুটি ভূমিসংলগ্ন হইবার মুহূর্তে উহার স্থৈতিক শক্তি সম্পূর্ণরূপে গতীয় শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

কারণ তখন $v^2 = 2gh$

এবং গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2} mv^2 = mgh.$

ভূমিসংলগ্ন হইবার পর বস্তুটির গতীয় বা স্থৈতিক শক্তি থাকে না। ইহার শক্তি ভূমিতে সঞ্চারিত হয়।

13. সৌরশক্তি পার্থিব সকল শক্তির মূল উৎস

ভূতত্ত্ববিদ্‌গণের মতে সূর্য হইতেই পৃথিবীর জন্ম হইয়াছে। কেবল যে সূর্য হইতেই পৃথিবীর জন্ম হইয়াছে তাহাই নহে, পৃথিবীর প্রায় সমুদয় শক্তির মূল উৎসও সূর্যই।

উদ্ভিদ এবং প্রাণীকে অবলম্বন করিয়া আমরা পৃথিবীতে যে জৈবশক্তির বিকাশ দেখিতে পাই তাহার মূলে রহিয়াছে সূর্য। সূর্যের তাপ ও আলোর জন্যই উদ্ভিদ এবং প্রাণীর জীবনধারণ সম্ভব হইয়াছে। আমরা কাঠ ও কয়লা পোড়াইয়া প্রচুর তাপশক্তি পাই। এই তাপশক্তি কাঠ ও কয়লার মধ্যে লুক্কাইত রাসায়নিক শক্তির রূপান্তর। উদ্ভিদের দেহগঠনে অংশ গ্রহণ করিয়া সৌরশক্তি—তাপ ও আলো—উদ্ভিদদেহে সঞ্চিত থাকে। লক্ষ লক্ষ বৎসর পূর্বে উদ্ভিদদেহে সঞ্চিত সৌরশক্তিই মাটির নীচে চাপা পড়িয়া কয়লার রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত হইয়াছে। পেট্রোলিয়ামেরও উৎপত্তি প্রাণী এবং উদ্ভিদের দেহাবশেষ হইতে। সুতরাং পেট্রল (পরিশুদ্ধ পেট্রোলিয়াম) হইতে প্রাপ্ত শক্তিও সৌরশক্তিরই রূপান্তর-বিশেষ।

সূর্যের তাপে পৃথিবীপৃষ্ঠস্থ জলভাগ হইতে অহরহ প্রচুর জল বাষ্পে পরিণত হইয়া আকাশে মেঘের সৃষ্টি করে। সৌরশক্তি মেঘের স্থৈতিক শক্তিতে পরিণত হয়। মেঘ নানাভাবে পৃথিবীতে পড়ে এবং ইহার স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। এই হিসাবে জলবিদ্যুৎও সৌরশক্তির রূপান্তর।

অনুরূপভাবে চিন্তা করিলে দেখা যাইবে যে অধিকাংশ ক্ষেত্রেই শক্তির মূল উৎসের সন্ধান করিতে করিতে সূর্যে গিয়া পৌঁছিতে হয়।

14. ক্ষমতা (Power)

কার্যের হারকে অর্থাৎ প্রতি একক সময়ে কৃত কার্যের পরিমাণকে **ক্ষমতা** বলে।

$$\text{সুতরাং ক্ষমতা} = \frac{\text{কৃত কার্য}}{\text{সময়}} \text{ ।}$$

মোটর, এঞ্জিন, পাম্প প্রভৃতি যন্ত্রের কার্যকারিতা সাধারণতঃ 'ক্ষমতা'র পরিমাপ দ্বারা তুলনা করা হয়।

15. ক্ষমতার একক (Units of Power)

কোনও কিছুদ্বারা যদি একক সময়ে একক পরিমাণ কার্য হয় তাহা হইলে উহার ক্ষমতাকে **একক ক্ষমতা** বলে।

(1) সি. জি. এস. একক (C. G. S. Unit)

ক্ষমতার সি. জি. এস. পরম একক **প্রতি সেকেণ্ডে এক আর্গ** অর্থাৎ যদি কোনও কিছুদ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে এক আর্গ কার্য হয় তাহার ক্ষমতাকে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক ধরা হয়। ইহার কোনও পৃথক্ নাম নাই। ইহা অত্যন্ত ক্ষুদ্র একক বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে অন্য একটি একক চলিত আছে।

ব্যবহারিক একক (Practical Unit)

ক্ষমতার সি. জি. এস. ব্যবহারিক এককের নাম **ওয়াট** (Watt)। প্রতি সেকেণ্ডে এক জুল ($=10^7$ আর্গ) কার্য হইলে ক্ষমতাকে এক ওয়াট বলা হয়।

$$1 \text{ ওয়াট} = \frac{1 \text{ জুল}}{1 \text{ সেকেণ্ড}} = 10^7 \text{ আর্গ/সেকেণ্ড ।}$$

কোনও কোনও ক্ষেত্রে আরও বৃহত্তর একক **কিলোওয়াট** (Kilowatt) ব্যবহার করা হয়।

$$1 \text{ কিলোওয়াট (k. w.)} = 1000 \text{ ওয়াট ।}$$

(2) এফ্. পি. এস্. একক (F. P. S. Unit)

ক্ষমতার এফ্. পি. এস্. পরম একক (absolute unit) প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট-পাউণ্ডাল অর্থাৎ কোনও কিছুদ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্য হইলে তাহার ক্ষমতাকে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পরম একক বলা হয়।

ব্যবহারিক একক

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক এককের নাম **অশ্ব-শক্তি** বা হর্স-পাওয়ার (Horse Power)।

1. অশ্ব-শক্তি (H. P.) = 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

= 33,000 ফুট-পাউণ্ড/মিনিট

অর্থাৎ কোনও কিছুর দ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড অথবা প্রতি মিনিটে 33,000 ফুট-পাউণ্ড কার্য হইলে তাহার ক্ষমতাকে এক **অশ্ব-শক্তি** (1 H. P.) বলে।

16. অশ্ব-শক্তি ও ওয়াটের সম্বন্ধ (Relation between Horse power and watt)

1 H. P. = 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

= 550×32.2 ফুট-পাউণ্ডাল/সেকেণ্ড

= $550 \times 32.2 \times 4.21 \times 10^5$ আর্গ/সেকেণ্ড

= $\dfrac{550 \times 32.2 \times 4.21 \times 10^5}{10^7}$ জুল/সেকেণ্ড।

= 746 জুল/সেকেণ্ড (প্রায়)

= 746 ওয়াট (প্রায়)।

Worked out examples

1. Find the work done by a force of 100 dynes acting through a distance of 10 metres.

100 ডাইন একটি বল 10 মিটার ব্যাপিয়া প্রয়োগ বিন্দুর উপর ক্রিয়ারত থাকিলে কি পরিমাণ কার্য হয় ?

নির্ণেয় কার্য = বল × দূরত্ব

= 100 ডাইন × 10 মিটার

= 100 ডাইন × 1000 সে. মি.

= 10^5 আর্গ।

2. How much work is done in raising a weight of one ton through a vertical height of 10 yards ?

1 টন ভরকে উল্লম্বভাবে 10 গজ তুলিতে কি পরিমাণ কার্য হয় ?

1 টন = 2240 পাউণ্ড

10 গজ = 30 ফুট

নির্ণেয় কার্য = বল × দূরত্ব

= 2240 পাউণ্ড ভার × 30 ফুট

= 67200 ফুট-পাউণ্ড

= 67200 × 32 ফুট-পাউণ্ডাল

= 2150400 ফুট-পাউণ্ডাল।

3. A body of mass 10 kilograms is let fall from a height of 10 metres Find the kinetic energy when it reaches the ground. ($g = 980$ cm/sec^2) (C U. 1945)

10 কিলোগ্রাম ভরযুক্ত একটি বস্তু 10 মিটার উপর হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। মাটিতে পৌঁছিবার সময় উহার গতীয় শক্তি নির্ণয় কর।

এখানে ভর $m = 10$ কিলোগ্রাম $= 10^4$ গ্রাম

উচ্চতা $h = 10$ মিটার $= 10^3$ সে. মি.

মাটিতে পৌঁছিবার সময় গতিবেগের বর্গ,

$$v^2 = 2gh = 2 \times 980 \times 10^3$$

গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$

$= \frac{1}{2} \times 10^4 \times 2 \times 980 \times 10^3$ আর্গ

$= 98 \times 10^8$ আর্গ।

4. Water is pumped up from a well through a height of 30 ft. by means of a 5 H. P. motor. If the efficiency of the pump is 85%, find in gallons the quantity of water pumped up per minute. (Mass of 1 gallon of water is 10 lbs.)

5 অশ্বশক্তি বিশিষ্ট পাম্পের সাহায্যে একটি কূপ হইতে 30 ফুট উচ্চে জল তোলা হইতেছে। পাম্পের কার্যকারিতা যদি 85% হয় তাহা হইলে

প্রতি মিনিটে কত গ্যালন জল উঠে তাহা নির্ণয় কর। (1 গ্যালন জলের ভর 10 পাউণ্ড।)

5 অশ্বশক্তি বিশিষ্ট মোটর এক মিনিটে কার্য করে

$5 \times 33,000$ ফুট-পাউণ্ড।

যেহেতু পাম্পের কার্যকারিতা 85%

সুতরাং প্রতি মিনিটে কৃত কার্যের পরিমাণ

$= 5 \times 33,000 \times \frac{85}{100}$ ফুট-পাউণ্ড

$= 5 \times 330 \times 85$ ফুট-পাউণ্ড।

1 পাউণ্ড জল 30 ফুট উচ্চে তুলিতে কার্যের পরিমাণ

$= 30$ ফুট-পাউণ্ড

∴ পাম্প কর্তৃক প্রতি মিনিটে উত্তোলিত জলের পরিমাণ

$= \frac{5 \times 330 \times 85}{30}$ পাউণ্ড

$= 4675$ পাউণ্ড

$= 467.5$ গ্যালন।

5. A shot travelling at the rate of 200 metre per second is just able to pierce a plank 4·5 cm. thick. What velocity is required to pierce a plank 18 cm. thick ?

প্রতি সেকেণ্ডে 200 মিটার বেগে ধাবমান একটি গুলি একটি 4·5 সে.মি. পুরু তক্তাকে কেবলমাত্র (just) ভেদ করিতে পারে। 18 সে. মি. পুরু একটি তক্তা ভেদ করিতে কত বেগ প্রয়োজন ?

উভয় ক্ষেত্রেই গুলির গতীয় শক্তি তক্তার রোধের বিরুদ্ধে কার্য করিতে ব্যয়িত হয় এবং গতীয় শক্তি কৃত কার্যের সমান।

যদি গুলির ভর m গ্রাম, তক্তার রোধ p ডাইন হয়, তাহা হইলে

প্রথম ক্ষেত্রে, $\frac{1}{2}m \times (200 \times 100)^2 = p \times 4.5$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $\frac{1}{2}m \times v^2 = p \times 18$

$$\therefore \frac{v^2}{(200 \times 100)^2} = \frac{18}{4.5} = 4$$

বা $v^2 = (200 \times 100)^2 \times 4$

বা $v = 400 \times 100$ সে. মি./সেকেণ্ড

$= 400$ মিটার/সেকেণ্ড।

অনুশীলনী

1. Define work, energy and power. State the units in which these are expressed.
Obtain a relation between the F. P. S. and C. G. S. absolute units of work.
সংজ্ঞা লিখ : কার্য, শক্তি, ক্ষমতা। এই সকল রাশি কি কি এককে প্রকাশিত হয়? কার্যের সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. পরম এককের মধ্যে সম্বন্ধ নিরূপণ কর।

2. Define kinetic energy and potential energy. Give examples of each.
Show that the total energy of a falling body is constant.
গতীয় শক্তি এবং স্থৈতিক শক্তি কাহাকে বলে? উদাহরণ দাও। প্রমাণ কর উপর হইতে পড়ন্ত কোনও বস্তুর গতীয় শক্তি এবং স্থৈতিক শক্তির সমষ্টি সর্বদা সমান।

3. Prove that the kinetic energy of a body of mass m moving with a velocity v is equal to $\frac{1}{2}mv^2$.
প্রমাণ কর—v বেগে চলমান m ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুর গতীয় শক্তি$=\frac{1}{2}mv^2$.

4. State the principle of conservation of energy and explain it with suitable illustrations.
শক্তির অবিনাশিতার নিয়মটি বিবৃত কর এবং উপযুক্ত দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

5. What are the practical units of power in the C. G. S. and F. P. S. systems? Obtain a relation between these units.
সি জি. এস. এবং এফ. পি. এস পদ্ধতিতে 'ক্ষমতা'র ব্যবহারিক একক কি কি? উহাদের মধ্যে সম্বন্ধ নির্ণয় কর।

6. Sun is the ultimate source of almost all energies in the earth. Discuss this statement.
সূর্যই পার্থিব সকল শক্তির মূল উৎস—আলোচনা কর।

7. A mass of 16 kilogrammes is raised through a vertical height of 8 metres. Express the work done in gramme-centimetres and also in ergs. [12.8×10^6 gm-cm ; 12.54×10^9 erg]
একটি 16 কিলোগ্রাম ভর বিশিষ্ট কোনও বস্তুকে 8 মিটার উধ্বে´ উঠাইতে যে পরিমাণ 'কার্য' হয় তাহা গ্রাম-সেন্টিমিটারে এবং আর্গে প্রকাশ কর।

8. A mass of 5 tons is raised to a height of 10 yards above the ground. Calculate its potential energy in foot-pounds and foot-poundals. [33.6 × 10^4 ft-lb ; 10·75 × 10^6 ft-poundal]
একটি 5 টন ভর বিশিষ্ট বস্তু মাটি হইতে 10 গজ উপরে উঠান হইয়াছে। ফুট-পাউণ্ড এবং ফুট-পাউণ্ডালে উহার স্থৈতিক শক্তি গণনা কর।

9. What is the kinetic energy of a mass of 20 lbs. after it has fallen from rest for 4 secs. ? [163840 ft-poundal]
20 lb ভর বিশিষ্ট একটি বস্তু স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় 4 সেকেণ্ড ধরিয়া নীচে পড়িবার পর উহার গতীয় শক্তি কত হইবে ?

10. If a bullet moving with a velocity of 100 metres per second can penetrate 2 cm. into a block of wood, what thickness would it penetrate when moving at the rate of 300 metres per second ?
[18 cm]
প্রতি সেকেণ্ডে 100 মিটার বেগে চলমান একটি বুলেট কাঠের ভিতরে 2 সে. মি. অবধি ভেদ করিতে পারে। বুলেটের বেগ সেকেণ্ডে 300 মিটার হইলে উহা কাঠের ভিতরে কতখানি প্রবেশ করিতে পারিবে ?

11. The kinetic energy of a body of mass m moving with a certain velocity is e ; show that its momentum is $\sqrt{2me}$.
m ভর বিশিষ্ট একটি গতিশীল বস্তুর গতীয় শক্তি যদি e হয়, তাহা হইলে প্রমাণ কর উহার ভরবেগ = $\sqrt{2me}$.

সপ্তম অধ্যায়

ঘর্ষণ (Friction)

1. একটি মসৃণ সমতল টেবিলের উপর একটি মসৃণ কাষ্ঠখণ্ড বসাও এবং উহার সহিত একটি সূতা বাঁধিয়া টেবিলের প্রান্তে একটি কপির উপর দিয়া ঝুলাইয়া দাও। সূতার মুক্ত প্রান্তে একটি হাল্‌কা তুলাপাত্র S বাঁধিয়া দাও। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে কাষ্ঠখণ্ডের উপর টেবিলের সমান্তরালভাবে প্রযুক্ত যে-কোনও বল উহার ত্বরণ উৎপন্ন করিবে এবং কাষ্ঠখণ্ডটি টেবিলের উপর দিয়া চলিতে আরম্ভ করিবে। সেই হিসাবে তুলাপাত্রের ভারেই কাষ্ঠখণ্ডটির চলিতে আরম্ভ করা উচিত। প্রকৃত পক্ষে দেখিতে পাইবে তুলাপাত্র কাষ্ঠখণ্ডটিকে নাড়াইতে পারে না।

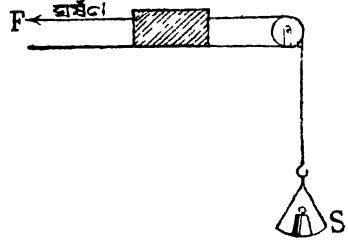



Fig 41

ইহার একমাত্র কারণ তুলাপাত্রের ভার কাষ্ঠখণ্ডকে যে দিকে টানিতেছে তাহার বিপরীত দিকে সমপরিমাণ কোনও বল ক্রিয়া করিয়া কাষ্ঠখণ্ডের সরণে বাধা দিতেছে। এই বলের নাম **ঘর্ষণ**। টেবিলের সমতল পৃষ্ঠের সহিত কাষ্ঠখণ্ডের সংস্পর্শ (contact) এই বলের উৎপত্তির কারণ। এই বলের প্রকৃতিই এই যে ইহা গতি উৎপন্ন করিতে পারে না—কেবলমাত্র গতির বাধা সৃষ্টি করিতে পারে।

এই ঘর্ষণ বলের পরিমাণ আমরা নির্ণয় করিতে পারি। ওজন বাক্স হইতে তুলাপাত্রের উপর বাটখারা চাপাইতে থাক যতক্ষণ না কাষ্ঠখণ্ডটি নড়িতে শুরু করে। যে ন্যূনতম ভার কাষ্ঠখণ্ডটিকে নড়াইতে সক্ষম হয় তাহাই টেবিল ও কাষ্ঠখণ্ডের মধ্যে সর্বাধিক ঘর্ষণ বলের পরিমাণ। যদি তুলাপাত্রসহ বাটখারার ন্যূনতম ভর m কাষ্ঠখণ্ডটিকে নড়াইতে সক্ষম হয় তাহা হইলে

$$\text{ঘর্ষণ বল, } f = mg.$$

2. পরীক্ষা ঃ একটি মসৃণ নততলের সাহায্যে ঘর্ষণ সম্বন্ধে নিম্ন-বর্ণিত পরীক্ষাটি করা যাইতে পারে।

AB একটি মসৃণ নততল। ইহার নতি বাড়াইবার বা কমাইবার ব্যবস্থা আছে। ইহার উপর m ভর বিশিষ্ট একটি কাষ্ঠখণ্ড (কাঠের ব্লক) বসাও। সাধারণতঃ দেখা যাইবে যে নততলের নতি একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম সীমা না ছাড়াইলে কাষ্ঠখণ্ডটি নততল বরাবর গড়াইয়া পড়ে না। ইহারও কারণ কাষ্ঠখণ্ড ও নততলের মধ্যে ঘর্ষণ।

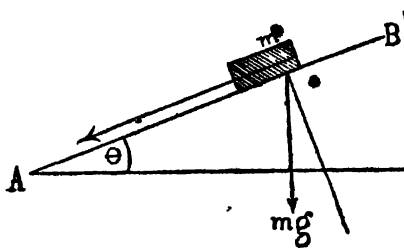



Fig. 42

নততল ও অনুভূমিকের মধ্যে যে ন্যূনতম কোণ θ_m অতিক্রান্ত না হইলে কাষ্ঠখণ্ডটি নততলের উপর দিয়া গড়াইতে শুরু করে না তাহাকে **ঘর্ষণ কোণ** (angle of friction) বলে।

যদি যে-কোনও অবস্থানে অনুভূমিকের সহিত নততলের নতি θ হয় তাহা হইলে কাষ্ঠখণ্ডের ভার mg-এর নততল বরাবর বিভক্তাংশ $= mg \sin\theta$। যতক্ষণ অবধি θ-এর মান বাড়িতে বাড়িতে θ_m না হয় ততক্ষণ অবধি কাষ্ঠখণ্ড ও নততলের মধ্যে ঘর্ষণ $= mg \sin\theta$, অর্থাৎ θ বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে ঘর্ষণ বাড়িতে থাকে। θ এর মান বাড়িতে বাড়িতে যখন θ_m হয় তখন ঘর্ষণ সর্বাধিক হয়।

সুতরাং সর্বাধিক ঘর্ষণ $= mg \sin\theta_m$

3. ঘর্ষণের নিয়ম (Laws of friction)

পরীক্ষা দ্বারা ঘর্ষণ সম্বন্ধে কতকগুলি নিয়ম জানা গিয়াছে। এই নিয়মগুলি সংক্ষেপে নিম্নলিখিত ভাবে বিবৃত করা যাইতে পারে।

(1) ঘর্ষণ সর্বদা দুইটি তলের মধ্যে আপেক্ষিক গতির বাধা সৃষ্টি করে।

(2) যতক্ষণ অবধি দুইটি তলের মধ্যে লম্বচাপের পবিবর্তন না ঘটে ততক্ষণ অবধি সর্বাধিক ঘর্ষণ বলের পরিমাণ তল দুইটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে—সংস্পৃষ্ট তলের আয়তনের উপর নির্ভর করে না।

(3) দুইটি তলের মধ্যে সর্বাধিক ঘর্ষণ বল তলদ্বয়ের মধ্যে লম্বচাপের সমানুপাতিক। নততলের চিত্রে দেখ (42নং চিত্র) ভারের একটি বিভক্তাংশ ($mg \sin \theta$) নততল বরাবর ত্বরণ সৃষ্টি করে। ভারের অপর বিভক্তাংশ $mg \cos \theta$ নততলের উপর লম্বভাবে চাপ দেয়। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে কাঠখণ্ডের উপর নততলের প্রতিক্রিয়া $= mg \cos \theta$

ঘর্ষণের তৃতীয় সূত্রানুযায়ী

$$\frac{mg \sin \theta_m}{mg \cos \theta_m} = \tan \theta_m = \mu \text{ (ধ্রুবক)}$$

এই ধ্রুবককে **ঘর্ষণের গুণাঙ্ক (coefficient of friction)** বলে।

41 নং চিত্রে m যদি কাঠখণ্ডের ভর হয় এবং w যদি বাটখারা সহ তুলাপাত্রের ন্যূনতম ভার হয় যাহা কাঠখণ্ডকে নড়াইতে শুরু করে,

তাহা হইলে ঘর্ষণের গুণাঙ্ক $\mu = \frac{w}{mg}$.

4. চল-ঘর্ষণ (Kinetic friction)—উপরে যে ঘর্ষণ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে তাহাকে স্থিতাবস্থার ঘর্ষণ বা স্থিত-ঘর্ষণ (static friction) বলে এবং ঘর্ষণের যে তিনটি সূত্র বিবৃত হইয়াছে উহারা প্রকৃতপক্ষে স্থিত-ঘর্ষণের সূত্র। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে চলা শুরু করিতে যে পরিমাণ বলের প্রয়োজন হয়, চলা বজায় রাখিতে তাহা অপেক্ষা কম বল প্রয়োজন হয়। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, চলাবস্থায় ঘর্ষণের পরিমাণ স্থিতাবস্থায় সর্বাধিক ঘর্ষণ অপেক্ষা কম। চলাবস্থার ঘর্ষণকে আমরা চল-ঘর্ষণ বলিতে পারি।

5. ঘর্ষণের কারণ ও তাহার অপসারণ

দুইটি তলের মধ্যে ঘর্ষণের কারণ তলের বন্ধুরতা। বন্ধুরতা যত কমে বা মসৃণতা যত বাড়ে ঘর্ষণের পরিমাণ তত কমে। দুইটি তল সম্পূর্ণ মসৃণ হইলে উহাদের মধ্যে কোনও ঘর্ষণ থাকে না। কিন্তু এইরূপ তল বাস্তবে সম্ভব নয়। আপাত দৃষ্টিতে যে তলকে সম্পূর্ণ মসৃণ বলিয়া মনে হয়, শক্তিশালী অণুবীক্ষণের

ভিতর দিয়া তাহাকেও বন্ধুর দেখাইবে। সুতরাং দুইটি তলকে যদি খুব ভাল করিয়া 'পালিশ' করা যায় তাহা হইলে তাহাদের বন্ধুরতা কমে এবং তলদ্বয়ের মধ্যে ঘর্ষণ কমে কিন্তু কিছু না কিছু ঘর্ষণ থাকিবেই।

দুইটি তলের ঘর্ষণের একটি প্রধান ফল হইল তলদ্বয়ের ক্ষয়। রাস্তার উপর দিয়া গাড়ি চলার ফলে রাস্তারও ক্ষয় হয় এবং গাড়ির চাকারও ক্ষয় হয়। পথ চলিতে চলিতে জুতার তলার ক্ষয় হয়। ঘর্ষণ দ্বারা কোনও তলকে পালিশ করা সম্ভব হয় তলের উপরিভাগের ক্ষয়ের জন্যই।

কোনও কোনও ক্ষেত্রে এই ক্ষয় গুরুতর আকার ধারণ করে এবং ক্ষয় নিবারণ অত্যাবশ্যক হইয়া পড়ে। অনেক যন্ত্রপাতির ক্ষেত্রে ঘর্ষণ বিশেষ আপত্তিজনক এবং অনাবশ্যক শক্তিক্ষয়ের কারণ। এই সম্পর্কে সেই সকল যন্ত্র ও কল বিশেষ ভাবে উল্লেখযোগ্য যেখানে চাকা ঘোরে এবং চাকার সঙ্গে বেল্টিং লাগাইয়া আরও চাকা ঘোরান হয়।

চাকার অক্ষদণ্ড (axis) যে দুইটি অবলম্বনের মধ্যে বসান থাকে তাহাদিগকে 'বেয়ারিং' বলে। চাকা ঘুরিবার সময় অনবরত বেয়ারিংয়ের সহিত অক্ষদণ্ডের ঘর্ষণ হয়। ইহাতে দুইটি ক্ষতি হয়। প্রথমতঃ ঘর্ষণের বাধা অতিক্রম করিবার জন্য অতিরিক্ত শক্তি ব্যয়িত হয়, দ্বিতীয়তঃ বেয়ারিং এবং অক্ষদণ্ড দুই-ই ক্ষয়িত হয়। এ সকল ক্ষেত্রে ঘর্ষণ কমাইবার জন্য 'তেল' (পিচ্ছিলকারক পদার্থ বা lubricant) ব্যবহার করা হয়। তেল ব্যবহার দ্বারা ঘর্ষণ এবং ঘর্ষণজনিত বাধা অনেক কমিয়া যায়। ইহার প্রধান কারণ এই যে চাকা ঘুরিবার সময় অক্ষদণ্ড এবং বেয়ারিংয়ের তলদ্বয় পরস্পরের সংস্পর্শে আসে না, তাহাদের মধ্যে তেলের একটি সূক্ষ্ম ব্যবধান থাকিয়া যায়। কোনও কোনও ক্ষেত্রে পিচ্ছিলকারক পদার্থ হিসাবে তেলের বদলে গ্র্যাফাইট (graphite) ব্যবহার করা হয়।

পাম্প, এঞ্জিন প্রভৃতি যন্ত্রে সিলিণ্ডারের মধ্যে পিস্টন ইতস্ততঃ সঞ্চালিত হয়। পিস্টনের বহিস্তল ও সিলিণ্ডারের অন্তস্তলের মধ্যে ঘর্ষণ এই সঞ্চালনে বাধা দেয় এবং উভয়ের ক্ষয় ঘটায়। এক্ষেত্রেও ঘর্ষণ কমাইবার জন্য উপযুক্ত পিচ্ছিলকারক পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

অনুশীলনী

1. What is friction ? What is its nature ? Explain the terms—Angle of friction, coefficient of friction.
ঘর্ষণ কাহাকে বলে ? ঘর্ষণের প্রকৃতি কি ? ঘর্ষণ কোণ, ঘর্ষণের গুণাঙ্ক কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও।

2. State the laws of limiting friction. Explain the laws with examples.
ঘর্ষণের নিয়ম কি কি ? দৃষ্টান্তের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

3. Prove that $\mu=\tan\theta_m$ How can the coefficient of friction be determined experimentally ?
প্রমাণ কর $\mu=\tan\theta_m$.
পরীক্ষাদ্বারা ঘর্ষণের গুণাঙ্ক কি উপায়ে নির্ণয় করা যায় ?

4. Discuss the causes of friction and the means of their removal
ঘর্ষণের কারণ ও তাহাদের অপসারণ সম্বন্ধে যাহা জান লিখ।

অষ্টম অধ্যায়

স্থিতিস্থাপকতা
(Elasticity)

1. একটি রবারের টুকরাকে টানিলে লম্বা হয় এবং টান ছাড়িয়া দিবার সঙ্গে সঙ্গে আবার পূর্বের মত ছোট হইয়া যায়। স্প্রিং-এর ক্ষেত্রেও এইরূপ দেখা যায়। স্প্রিং-এর গদির উপর বসিলে গদি নামিয়া যায় এবং উঠিবার সঙ্গে সঙ্গে গদি পূর্বাবস্থা প্রাপ্ত হয়। এই গুণের জন্য আমরা রবার এবং স্প্রিংকে স্থিতিস্থাপক (elastic) বলি। বায়ুর মধ্যেও আমরা এই গুণ দেখিতে পাই। একটি ফুটবলের ব্লাডার পাম্প করিয়া ফুলাইলে গোলাকার ধারণ করে। চাপ দিলে ইহা সঙ্কুচিত হয় কিন্তু চাপ সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে আবার পূর্বের মত হয়। পদার্থের এই ধর্মকে **স্থিতিস্থাপকতা** বলে। ইহা সকল পদার্থের একটি সাধারণ ধর্ম—কম-বেশী পরিমাণে সকল পদার্থেই দেখা যায়।

আমরা বলিতে পারি, **স্থিতিস্থাপকতা পদার্থের সেই ধর্ম যাহার জন্য কোনও পদার্থ বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের ফলে দৈর্ঘ্যে, আয়তনে বা আকৃতিতে পরিবর্তিত হইলে সেই বল সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে পুনরায় পূর্বাবস্থা প্রাপ্ত হয়।**

2. স্থিতিস্থাপকতার ব্যাখ্যা

সাধারণতঃ কোনও বস্তুর উপর বলের ক্রিয়ার ফলে উহার স্থানচ্যুতি হয়। কিন্তু অনেক সময় দেখা যায় 'সাম্যে অবস্থিত' (in equilibrium) কতকগুলি বলের ক্রিয়ার ফলে সামগ্রিক ভাবে বস্তুর স্থানচ্যুতি হয় না কিন্তু ইহার অন্তর্গত বিভিন্ন অংশের আপেক্ষিক অবস্থানের পরিবর্তন হয় এবং পদার্থটির দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকৃতির পরিবর্তন ঘটে। এইরূপ পরিবর্তনকে **বিকৃতি** বা **তবি** বলা হয়। বাহির হইতে প্রযুক্ত বলগুলির প্রতিক্রিয়া হিসাবে সঙ্গে সঙ্গে পদার্থের ভিতর হইতে বিপরীত এবং সমান সমান বলের উৎপত্তি হয়। বাহির হইতে প্রযুক্ত বল প্রত্যাহৃত হইলে এই আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়ার ফলে পদার্থ পূর্বাবস্থা প্রাপ্ত হয়।

স্থিতিস্থাপকতা সম্পর্কিত কতিপয় সংজ্ঞা

3. বিকৃতি বা তভি (Strain)

বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ার ফলে পদার্থের যে আয়তন বা আকৃতির পরিবর্তন হয় তাহাকে সাধারণভাবে বিকৃতি বা তভি বলে। তভির পরিমাপ হয় একক মাত্রায় যে পরিবর্তন ঘটে তাহার পরিমাণদ্বারা।

$$\text{তভি} = \frac{\text{মাত্রার পরিবর্তন}}{\text{পূর্ব মাত্রা}}$$

সমজাতীয় দুইটি রাশির অনুপাত বলিয়া তভির কোনও মাত্রা নাই। ইহা একটি শুদ্ধসংখ্যা।

মাত্রার প্রকৃতি অনুসারে তভির বিভিন্ন নাম হয়।

(1) অনুদৈর্ঘ্য তভি (Longitudinal strain)

যেখানে বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের প্রভাবে প্রধানতঃ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে এবং দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের তুলনায় অন্য পরিবর্তন নগণ্য, সেখানে অনুদৈর্ঘ্য তভি বিবেচিত হয়।

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য তভি} = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}$$

যদি L cm দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি তারের দৈর্ঘ্য l cm বৃদ্ধি পায় তাহা হইলে,

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য তভি} = \frac{l \text{ cm}}{L \text{ cm}} = \frac{l}{L}$$

(2) আয়তন-তভি (Volume strain)

যদি বাহির হইতে সমভাবে প্রযুক্ত বলের ফলে কোনও পদার্থের কেবলমাত্র আয়তনের পরিবর্তন হয় কিন্তু আকৃতি অপরিবর্তিত থাকে তাহা হইলে উৎপন্ন তভিকে আয়তন-তভি বলে।

$$\text{আয়তন-তভি} = \frac{\text{আয়তনের পরিবর্তন}}{\text{প্রাথমিক আয়তন}}$$

যদি কোন বস্তুর প্রাথমিক আয়তন V c c হয় এবং বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের ফলে আয়তন v c.c হ্রাস পায় তাহা হইলে আয়তন-তভি $= \frac{-v \text{ c c}}{V \text{ c c}} = -\frac{v}{V}$

'v'র পূর্বে ঋণ চিহ্ন (—) ব্যবহৃত হইয়াছে আয়তনের হ্রাস বুঝাইবার জন্য।

4. পীড়ন (Stress)

বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ার ফলে পদার্থের তভি বা বিকৃতি ঘটিলে যে আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয় তাহার সাধারণ নাম পীড়ন। একক ক্ষেত্রফল পরিমিত স্থানে যে বল ক্রিয়া করে তাহা দ্বারা পীড়নের পরিমাপ হয়। যেহেতু নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়া বাহিরের প্রযুক্ত বলের সমান, সুতরাং,

$$\text{পীড়ন} = \frac{\text{বাহির হইতে প্রযুক্ত বল}}{\text{যে ক্ষেত্রফলের উপর বল প্রযুক্ত হয়}}$$

(1) অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন (Longitudinal Stress)

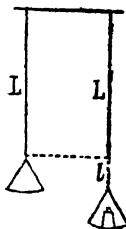



Fig 43

মনে কর L cm দীর্ঘ ও r cm ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট একটি তারকে উপর হইতে ঝুলান হইয়াছে। উহার নীচের প্রান্তে একটি তুলাপাত্রে m গ্রাম বাটখারা বসাইবার ফলে উহার দৈর্ঘ্য l cm পরিমাণ বৃদ্ধি পাইল।

এ ক্ষেত্রে প্রযুক্ত বল = mg ডাইন

তারের প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r^2$ বর্গ সে. মি.

$\therefore$ অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= \dfrac{mg}{\pi r^2}$ ডাইন/বর্গ সে. মি.

এবং অনুদৈর্ঘ্য তভি $= \dfrac{l}{L}$

(2) আয়তন পীড়ন (Volume Stress)

আয়তন-তভির ফলে আয়তন পীড়ন উদ্ভূত হয়। মনে করা যাক প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে P ডাইন চাপ প্রযুক্ত হওয়ার ফলে কোনও পদার্থের আয়তন V c c হইতে হ্রাস পাইয়া V−v c.c হইল কিন্তু আকৃতির পরিবর্তন হইল না।

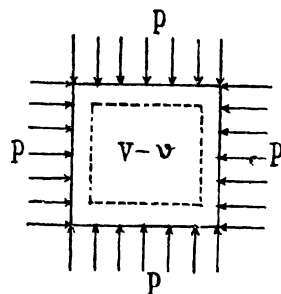



Fig. 44

এখানে আয়তন পীড়ন = P ডাইন বর্গ সে. মি

$$\text{আয়তন-তভি} = -\frac{v}{V}$$

5. স্থিতিস্থাপকতার সীমা ও অসহ ভার (Elastic limit and breaking weight)

একখণ্ড রবার টানিলে বড় হয় এবং টান ছাড়িয়া দিলে পুনরায় পূর্বের মত হয়। কিন্তু রবারের উপর টান যদি খুব বেশি বাড়ান যায় তাহা হইলে টান সরাইয়া লইলেও রবার পূর্বের মত হয় না। খানিকটা স্থায়ী বিকৃতি থাকিয়া যায়। আরও বেশী টানিলে এক সময় ছিঁড়িয়া যায়। একথা রবারের ক্ষেত্রে যেমন সত্য অন্যান্য পদার্থের ক্ষেত্রেও সত্য। সকল পদার্থের ক্ষেত্রেই বলের একটি সীমা আছে যাহা অতিক্রম করিলে বল সরাইয়া লইলেও পদার্থ আর পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে না। এই সীমা বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে বিভিন্ন। এই সীমাকে বলে স্থিতিস্থাপকতার সীমা। যে ন্যূনতম টানের প্রয়োগে পদার্থ বিচ্ছিন্ন হইয়া যায় সেই টানের পরিমাণকে বলা হয় **অসহ ভার** (breaking weight)। কোনও নির্দিষ্ট ধাতুনির্মিত তারের অসহ ভার তারের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে। একক প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট তারের অসহ ভারকে ঐ বস্তুর অসহ পীড়ন (breaking stress) বলে।

একটি ইস্পাতের সরু তারের দৈর্ঘ্য ভারবৃদ্ধির সহিত কিভাবে পরিবর্তিত হয় তাহা 45নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

প্রথমতঃ দেখা যায় বলবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে দৈর্ঘ্যপ্রসারণ বৃদ্ধি পাইতে থাকে। লেখচিত্রের OM অংশে এইরূপ হইতে দেখা যায় অর্থাৎ এই অংশে বল ও দৈর্ঘ্যপ্রসারণের অনুপাত অপরিবর্তিত কারণ লেখ-চিত্রের OM অংশ একটি সরলরেখা। M বিন্দু অতিক্রম করিয়া গেলে বল আর দৈর্ঘ্যপ্রসারণের সমানুপাতিক নহে। দৈর্ঘ্যপ্রসারণ দ্রুততর হারে বৃদ্ধি পাইতে থাকে। M বিন্দুই তারটির স্থিতিস্থাপকতার সীমা সূচিত করে। N বিন্দু অতিক্রম করিবার পর তার-টি অর্ধতরলের (plastic) মত হইয়া ছিঁড়িয়া যায়।

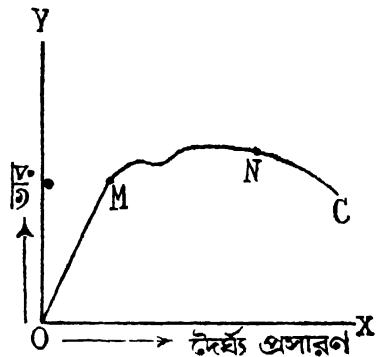



Fig 45

6. পূর্ণস্থিতিস্থাপকতা (Perfect elasticity)

যে বস্তু তড়ি-উৎপন্নকারী প্রযুক্ত বল অপসারিত হওয়ার পর পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে তাহাকে পূর্ণস্থিতিস্থাপক বস্তু বলে। কোনও বস্তুই যে-কোনও বলের জন্য পূর্ণস্থিতিস্থাপক নহে অর্থাৎ সকল বস্তুরই পূর্ণস্থিতিস্থাপকতার সীমা আছে।

7. পূর্ণদৃঢ়তা (Perfect rigidity)

যে-কোনও পরিমাণ বাহ্যিক বল প্রযুক্ত হইলেও যে বস্তুর তড়ি ঘটে না তাহাকে পূর্ণদৃঢ় বস্তু কহে। বাস্তবে পূর্ণদৃঢ় বস্তু নাই।

8. হুকের সূত্র (Hooke's law)

সপ্তদশ শতাব্দীতে রবার্ট হুক (Robert Hooke) নামে একজন ইংরেজ বিজ্ঞানী স্থিতিস্থাপকতা সম্বন্ধে অনেক পরীক্ষার পর এই সম্বন্ধে একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। ইহা হুকের সূত্র নামে খ্যাত।

আমরা নিম্নলিখিত ভাবে হুকের সূত্র বিবৃত করিতে পারি—

স্থিতিস্থাপকতার সীমা অবধি পীড়ন ও তড়ি পরস্পরের সমানুপাতিক

$$\text{অর্থাৎ}\quad \frac{\text{পীড়ন}}{\text{তড়ি}} = \text{ধ্রুবক (constant)}$$

এই ধ্রুবককে **স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক** (modulus of elasticity) বলে।

পীড়ন এবং তড়ির প্রকৃতি অনুসারে স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের বিভিন্ন নাম দেওয়া হয়।

9. ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক (Young's modulus)

স্থিতিস্থাপকতার সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য তড়ির অনুপাতকে ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক বা অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলে।

$$\text{অর্থাৎ ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক,}\quad Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য তড়ি}}$$

$$\text{102 পৃষ্ঠার দৃষ্টান্তে } Y = \frac{mg}{\pi r^2} \Big/ \frac{l}{L} = \frac{mgL}{\pi r^2 l} \text{ ডাইন/বর্গ সে. মি.}$$

10. আয়তন-স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (Bulk modulus of elasticity)

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোনও বস্তুর আয়তন-পীড়ন ও আয়তন-তত্তির অনুপাতকে আয়তন-স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলে।

$$\text{আয়তন-স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, } K = \frac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন-তত্তি}}$$

$$102 \text{ পৃষ্ঠার দৃষ্টান্তে } K = -\frac{P}{\frac{v}{V}} = -\frac{PV}{v} \text{ ডাইন/বর্গ সে. মি.}$$

11. রবার বেশী স্থিতিস্থাপক না ইস্পাত বেশী স্থিতিস্থাপক ?

যে পদার্থের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক যত বেশী তাহাকে তত বেশী স্থিতিস্থাপক বলা হয়।

$$\text{স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক} = \frac{\text{পীড়ন}}{\text{তত্তি}}$$

একটি রবারের সূতা ও একটি ইস্পাতের তার লইয়া সহজেই পরীক্ষা করিয়া দেখান যায় যে সমান পরিমাণ তত্তি উৎপন্ন করিতে রবারের ক্ষেত্রে যে পরিমাণ বাহ্যিক বল প্রয়োগ করা দরকার হয় ইস্পাতের ক্ষেত্রে তাহা অপেক্ষা বহুগুণ বেশী বল দরকার। সুতরাং পীড়ন ও তত্তির অনুপাত অর্থাৎ স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক ইস্পাতের ক্ষেত্রে অনেক বেশী। অতএব রবার অপেক্ষা ইস্পাত অধিকতর স্থিতিস্থাপক।

12. ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Young's modulus)

কোনও পদার্থের স্থিতিস্থাপক ধর্ম সম্বন্ধে জ্ঞানলাভের জন্য উহার ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয় একটি অতি প্রয়োজনীয় পরীক্ষা। পরীক্ষাগারে সহজভাবে ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি প্রণালী বর্ণিত হইল। মনে কর ইস্পাতের ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে। সমান প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট দুইটি প্রায় সমান দৈর্ঘ্যের (অন্ততঃ ৮।৯ ফুট) তার (AB ও CD) লও। ইহাদের মধ্যে AB তারটি পরীক্ষণীয় (experimental) তার এবং CD তারটি তুল্য তার (comparison wire)।

CD তারের তলদেশে একটি ধাতুনির্মিত স্কেল (S) আটকান আছে এবং AB তারের তলদেশে একটি ভার্নিয়ার স্কেল (V) আছে।

ভার্নিয়ার স্কেল (V) মূল স্কেল (S) এর সমান্তরাল এবং গায় গায় লাগান। এই দুইটি স্কেলের সাহায্যে CD তারের তুলনায় AB তারের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়।

প্রথমেই তার দুইটিকে ছাদ অথবা ছাদের নিকটবর্তী কোন দৃঢ় অবলম্বন হইতে পাশাপাশি ঝুলাও যাহাতে ভার্নিয়ার স্কেল মূল স্কেলের গায় গায় থাকে (চিত্র দেখ)। উভয় স্কেলেরই তলদেশে হুক আছে বা অন্য ব্যবস্থা আছে যাহাতে প্রয়োজনীয় ভার চাপাইয়া তার দুইটিকে টান টান করা যায়। ঐরূপ ভার চাপাইয়া তার দুইটিকে টান টান কর যেন কোথাও কুঁচকাইয়া না থাকে। এইবার AB তারের অসহ ভার নির্ণয় করিতে হইবে। ইহার জন্য একটি স্ক্রু-গজের সাহায্যে ৫।৬টি বিভিন্ন স্থানে তারটির ব্যাস নির্ণয় করিয়া গড় ব্যাস লও এবং তারের প্রস্থচ্ছেদ গণনা কর। (প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r^2$) Table of Physical constants হইতে ইস্পাতের অসহ পীড়ন দেখিয়া লও। ইহাকে তারের প্রস্থচ্ছেদ দ্বারা গুণ করিলেই অসহ ভার পাওয়া যাইবে। পরীক্ষার সময় কখনও অসহ ভারের অর্দ্ধেকের বেশী ভার তারের নীচে চাপাইবে না।

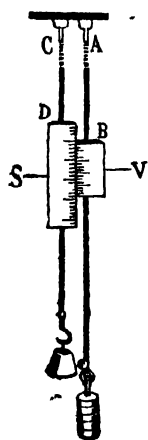



Fig 46

এখন মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ দেখিয়া রাখ। AB তারের নীচের ভার অর্ধ কিলোগ্রাম বৃদ্ধি কর। লক্ষ্য কর ভার্নিয়ার স্কেল নীচে নামিয়াছে। এইভাবে AB তারের নীচে অর্ধ কিলোগ্রাম করিয়া ভার চাপাইতে থাক এবং স্কেল দুইটির পাঠ লইতে থাক। এইরূপে কিছুক্ষণ করিবার পর পুনরায় অর্ধ কিলোগ্রাম করিয়া ভার নামাইতে থাক এবং স্কেলের পাঠ লইতে থাক। অবশেষে শেষ অতিরিক্ত অর্ধ কিলোগ্রামটিও নামাও। দেখ স্কেলদ্বয়ের পাঠ প্রাথমিক পাঠে আসিয়া পৌঁছিয়াছে। ইহাতে বুঝা গেল অতিরিক্ত ভার চাপাইবার ফলে তারের

যতখানি প্রসারণ হইয়াছিল ভার অপসারণ করিবার পর ততখানি কমিয়াছে অর্থাৎ তারের স্থিতিস্থাপকতার সীমা অতিক্রান্ত হয় নাই। প্রথমেই এই পরিমাণ ভার চাপাইতে হইবে যাহাতে স্থিতিস্থাপকতার সীমা অতিক্রান্ত না হয়। এই সীমা অতিক্রান্ত হইলে নূতন তার লইয়া পরীক্ষা করিতে হইবে।

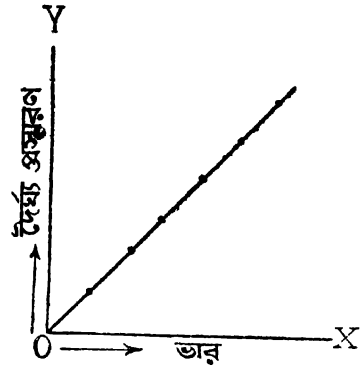
ভারবৃদ্ধি এবং ভারহ্রাস—উভয় ক্ষেত্রেই একই ভারের জন্য স্কেলের পাঠ সমান হওয়া উচিত। সামান্য ব্যতিক্রম হইলে গড় পাঠ লইয়া ঐ ভারের জন্য প্রসারণ গণনা করিবে।

এখন $Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$ এই সূত্রের সাহায্যে অনায়াসে Y নির্ণয় করা যায়।

Fig 47

একটি ভার-দৈর্ঘ্য প্রসারণ লেখচিত্র আঁকিয়া দেখ লেখটি একটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা। (x অক্ষ বরাবর ভার এবং y অক্ষ বরাবর দৈর্ঘ্য প্রসারণ সংস্থাপিত কর।)

13. স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্যপ্রসারণদ্বারা বলের পরিমাপ ও স্প্রিং-তুলার অংশাঙ্কন প্রণালী (Measurement of force by extension of spring and graduation of a spring balance)

স্প্রিং-তুলার গঠন ও স্প্রিং-তুলার দ্বারা ভার নির্ণয় প্রণালী পূর্বে আলোচিত হইয়াছে। কেবলমাত্র ভার নহে, টান জাতীয় যে-কোনও বল (স্প্রিংয়ের স্থিতিস্থাপক সীমার অন্তর্গত) স্প্রিংয়ের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

স্প্রিং-তুলার অংশাঙ্কনে হুকের সূত্রের সাহায্য লওয়া হয়। হুক নিজে তাঁহার সূত্র যে ভাবে বিবৃত করিয়াছিলেন তাহা এই—

প্রসারণ ∝ বল। প্রসারণ বলের সমানুপাতিক।

স্প্রিং-তুলার ক্ষেত্রে স্প্রিংয়ের প্রসারণ প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক। সুতরাং স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্যপ্রসারণ মাপিয়া বলের পরিমাপ করা যায়।

স্প্রিং-তুলার হুকে যখন কোনও ভার চাপান থাকে না তখন স্প্রিং-তুলার সূচক স্কেলের গায়ে যেখানে থাকে সেখানে '0' দাগ দেওয়া হয়। মনে কর তারপর

500 গ্রাম বাটখারা নীচের হুকসংলগ্ন পাত্রে চাপান হইল। স্প্রিংসংলগ্ন সূচক নীচে নামিয়া আসিয়া একস্থানে স্থির হইল। 500 গ্রাম অপসারিত করিয়া দেখা হইল সূচক পুনরায় পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে কিনা। যদি ফিরিয়া আসে তাহা হইলে বুঝিতে হইবে 500 গ্রাম চাপাইলেও স্প্রিংয়ের প্রসারণ স্থিতিস্থাপকতার সীমা অতিক্রম করে না। শেষোক্ত স্থানে স্কেলের গায়ে 500 চিহ্নিত করা হয়। শূন্য (0) ও 500 এর মধ্যবর্তী স্থানকে 50 সমান অংশে বিভক্ত করা হইলে প্রত্যেক অংশের মান হইবে 10 গ্রামের ভারের সমান অর্থাৎ প্রত্যেক অংশের সমান প্রসারণের জন্য 10 গ্রাম ভার পরিমিত বলের প্রয়োজন হইবে। সুতরাং 0 চিহ্নের পর হইতে 10, 20, 30, 40 ইত্যাদি অংশাঙ্কন বসাইলে সেই সকল অংশাঙ্কনদ্বারা 10 গ্রাম ভার, 20 গ্রাম ভার, 30 গ্রাম ভার ইত্যাদি বল সূচিত হইবে। এখন স্প্রিং-তুলার হুকে অজানা ভার চাপাইলে অথবা অজানা কোনও টান প্রয়োগ করিলে সূচকটি যে অংশাঙ্কন অবধি প্রসারিত হইবে সেই অংশাঙ্কনই অজানা ভার বা অজানা টানের পরিমাণ নির্দেশ করিবে।

14. পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম সম্বন্ধে জ্ঞানলাভের প্রয়োজনীয়তা

বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম সম্বন্ধে অনুসন্ধান ও গবেষণা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় বিষয়। ছোট বড় ইমারত, সেতু, কলকারখানা, যন্ত্রপাতি প্রভৃতি নির্মাণ করিবার সময় এঞ্জিনিয়ারদিগের হিসাব করিতে হয়, কোন্ পদার্থ কতখানি ভার সহ্য করিতে পারিবে, কোন্ পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার সীমা কতদূর অবধি। কোনও বিশেষ কার্যের জন্য স্থিতিস্থাপক ধর্মের তুলনা করিয়া মালমসলা নির্বাচন করিতে হয়। স্থিতিস্থাপকতা নির্ণয় করিবার জন্য নানা প্রকার যন্ত্রও উদ্ভাবিত হইয়াছে।

অনুশীলনী

1. Explain what is meant by the elasticity of a substance Explain the meaning of the terms ;—
   Stress, strain, elastic limit.

   কোনও পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা বলিতে কি বুঝায় ?
   নিম্নলিখিত শব্দগুলি বিশদভাবে ব্যাখ্যা কর—
   পীড়ন, তি স্থিতিস্থাপকতার সীমা।

2. State Hooke's Law. What is modulus of elasticity ? , How many different kinds of moduli are there ?

হুকের সূত্র লিখ। স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ? কতরকম স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের কথা জান ?

3. State and explain Hooke's Law. How can you verify Hooke's Law in the laboratory ?

হুকের সূত্রটি বিশদভাবে বুঝাইয়া দাও। পরীক্ষাগারে হুকের সূত্রের যাথার্থ্য প্রতিপন্ন করিবার একটি উপায় বর্ণনা কর।

4. Define Young's modulus of elasticity. Describe a method of determining Young's modulus of steel.

ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক কি ?

ইস্পাতের ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

5. Explain the principle of a spring balance. How is its scale graduated ?

স্প্রিং-তুলার নীতি বুঝাইয়া দাও। ইহার স্কেলের অংশাঙ্কন কিভাবে হয় ?

6. "Steel is more elastic than rubber " Justify this statement.

"ইস্পাত রবার অপেক্ষা অধিকতর স্থিতিস্থাপক"—এই কথার যাথার্থ্য সম্বন্ধে আলোচনা কর।

7. A mass of 29 kgm is suspended from a vertical wire 600 5 cm long and 1 sq.mm in cross-section When the load is removed, the wire is found to be shortened by ·5 cm Find the Young's modulus for the material of the wire.

[Ans. $10{\cdot}87\times10^{11}$ dynes/sq cm]

600 5 সে মি দীর্ঘ এবং 1 বর্গ মি, মি. প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি উল্লম্বভাবে ঝুলান তারের নীচে 29 কিলোগ্রাম ভার চাপান আছে। এই ভারটি অপসারণ করিলে তারের দৈর্ঘ্য 5 সে মি হ্রাস পায়। যে পদার্থ দ্বারা তার তৈয়ারী উহার ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

8. A steel wire of diameter ·5 mm and length 4 metres is elongated by 5 mm when stretched by a weight of 5 kgm. Calculate the Young's modulus of the material of the wire.

[Ans. $2{\cdot}04\times10^{6}$ Kgm-wt per sq cm]

4 মিটার দীর্ঘ এবং ·5 মি মি ব্যাসযুক্ত একটি তারের নীচে 5 কিলোগ্রাম ভার চাপাইলে উহার 5 মি মি প্রসারণ হয়। উহার ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক গণনা কর।

9. What force will be required to stretch a steel wire of 1 sq cm in cross-section to double its length ? Young's modulus of steel is 2×10^{12} dynes per sq. cm

ইস্পাতের ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক 2×10^{12} ডাইন/বর্গ সে মি। এক বর্গ সেমি প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি তারের দৈর্ঘ্য টানিয়া দ্বিগুণ করিতে কি পরিমাণ বলের প্রয়োজন হইবে ?

নবম অধ্যায়

পদার্থের ঘনত্ব ও ঘনত্ব মাপন

1. ঘনত্ব

ঘনত্ব পদার্থের একটি ধর্ম বা গুণ। এই গুণের পার্থক্যের জন্যই আমরা এক পদার্থের তুলনায় অন্য পদার্থকে ভারী বা হাল্কা বলি। সমান ঘনফল বিশিষ্ট কতকগুলি কঠিন পদার্থকে তুলাদণ্ডে ওজন করিলে দেখা যায় যে তাহাদের ভর বিভিন্ন হয়। ভরের ক্রম অনুসারে আমরা সেই পদার্থগুলির ঘনত্বের ক্রম নির্দেশ করি। এইভাবে পরীক্ষা করিলে আমরা দেখিতে পাইব কাঠ আর মোমের ঘনত্ব প্রায় সমান, কাচের ঘনত্ব ইহাদের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী, লোহার ঘনত্ব আরও বেশী, পিতলের ঘনত্ব লোহার ঘনত্ব অপেক্ষাও বেশী এবং স্বর্ণের ঘনত্ব এই সকলের তুলনায় অনেক বেশী।

তরল পদার্থের ঘনত্বও আমরা তুলনা করিতে পারি। তার জন্য একটি গেলাস, কাপ বা বীকার জাতীয় পাত্র প্রয়োজন। সেই পাত্র ভর্তি করিয়া বিভিন্ন তরল পদার্থ ওজন করিলে দেখা যাইবে যে, সমান ঘনফল বিশিষ্ট সকল তরল পদার্থের ভর সমান নহে। ভরের ক্রমতা অনুসারে আমরা তরল পদার্থগুলির ঘনত্বের ক্রম নির্দেশ করিতে পারি।

ঘনত্বের সংজ্ঞা

কোনও পদার্থের একক ঘনফল পরিমাণের ভরকে সেই পদার্থের ঘনত্ব বলে।

$$\text{অর্থাৎ ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনফল}}$$

2. ঘনত্ব নির্ণয়

কোনও পদার্থের ভরকে তাহার ঘনফল দ্বারা ভাগ করিলে ঘনত্ব পাওয়া যায়। তুলাদণ্ডের সাহায্যে সহজেই ভর মাপা যায়। তরল পদার্থের

ঘনফল মাপাও শক্ত নয়। তরল পদার্থটুকু একটি মাপক সিলিণ্ডারে ঢালিলে কতটুকু জায়গা দখল করে তাহা দেখিয়া সহজেই ঘনফল জানা যায়। সুষম (regular) কঠিন পদার্থের (যেমন ঘনক, parallelopiped, স্তম্ভক, গোলক প্রভৃতি) ঘনফল স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা ব্যাস মাপিয়া জ্যামিতিক নিয়মে নির্ণয় করা যায়। কিন্তু অসমাকৃতি কঠিন পদার্থের ঘনফল এই রকম জ্যামিতিক নিয়মে নির্ণয় করা সম্ভব নহে। ইহার জন্য অন্য উপায় অবলম্বন করা দরকার। একটি সহজ উপায়ের কথা বলিতেছি।

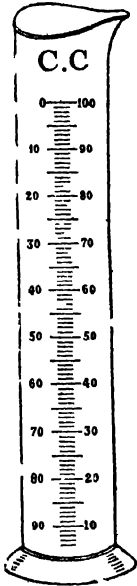



Fig 48
মাপক সিলিণ্ডার

পরীক্ষা:—চিত্রের মত একটি **নলমুখবিশিষ্ট** কাচের পাত্র জল দিয়া এমনভাবে ভর্তি কর যেন আর একটু জল ঢালিলেই নলের মুখ দিয়া পড়িয়া যাইবে। নলের মুখের নীচে একটি মাপক সিলিণ্ডার রাখ। এইবার কঠিন পদার্থ সাবধানে জলের মধ্যে ফেলিয়া দাও। যে পরিমাণ জল মাপক সিলিণ্ডারে উপচাইয়া পড়িবে তাহার ঘনফল কঠিন পদার্থটির ঘনফলের সমান। কঠিন পদার্থটি জলে দ্রবণীয় হইলে জলের পরিবর্তে অন্য তরল পদার্থ লইতে হইবে। আর পদার্থটি জল হইতে হাল্কা হইলে উহার সঙ্গে একটি ভারী পদার্থ বাঁধিয়া জলে ডুবাইতে হইবে এবং পরে পৃথক ভাবে ঐ ভারী পদার্থটির ঘনফল নির্ণয় করিতে হইবে।

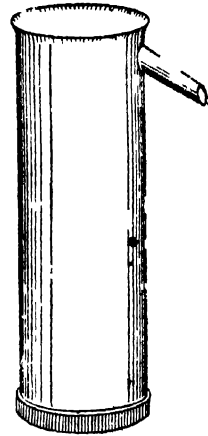



Fig 49
নলমুখবিশিষ্ট সিলিণ্ডার

দৃষ্টান্ত: (i) একটি আয়তাকার ঘন সামান্তরিকের ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে মাপিয়া দেখা গেল ইহার

দৈর্ঘ্য—2·52 cm
প্রস্থ—1·44 cm
বেধ— ·52 cm

সুতরাং ইহার ঘনফল $= 2.52 \times 1.44 \times .52$ ঘন সেন্টিমিটার
$= 1.89$ ঘন সেন্টিমিটার

তুলাযন্ত্রে মাপিয়া দেখা গেল,
ইহার ভর $= 4.755$ গ্রাম

$\therefore$ পদার্থটির ঘনত্ব $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{4.755}{1.89}$ গ্রাম/ঘন সেন্টিমিটার।
$= 2.52$ গ্রাম/ঘন সে. মি.

(ii) একটি কাচের ছিপির ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।
তুলাযন্ত্রে মাপিয়া দেখা গেল,
ইহার ভর $= 10.35$ গ্রাম

একটি নলমুখবিশিষ্ট কাচের বীকার লইয়া উহা জল দ্বারা ভর্তি করা হইল। তারপর কাচের ছিপিটি জলের মধ্যে ফেলিলে দেখা গেল নলের মুখ দিয়া যে পরিমাণ জল মাপক সিলিণ্ডারে উপচাইয়া পড়িয়াছে, তাহার ঘনফল 4.25 ঘন সেন্টিমিটার। সুতরাং কাচের ছিপিটির ঘনফল $= 4.25$ ঘন সেন্টিমিটার।

সুতরাং ইহার ঘনত্ব $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{10.35}{4.25}$ গ্রাম/ঘন সেন্টিমিটার
$= 2.43$ গ্রাম/ঘন সেন্টিমিটার

3. গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব

সংজ্ঞা অনুসারে, ঘনত্ব $= \frac{\text{পদার্থের ভর}}{\text{পদার্থের আয়তন}}$

কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন নাই। একই ভরের গ্যাসীয় পদার্থকে চাপ দিয়া সঙ্কুচিত করা যায় আবার চাপ কমাইয়া প্রসারিত করা যায়। সুতরাং উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুসারে গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট ঘনত্বও নাই। কিন্তু উষ্ণতার পরিবর্তন না হইলে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাস নির্দিষ্ট চাপে এক নির্দিষ্ট আয়তন অধিকার করিয়া থাকে। এজন্য উষ্ণতা ও চাপ নির্দিষ্ট থাকিলে গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্বও নির্দিষ্ট হয়। কোনও গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে .008 গ্রাম বলিলে বিশেষ কিছু বুঝায় না, যদি না সঙ্গে সঙ্গে গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতার উল্লেখ করা হয়। কঠিন ও তরল বস্তুর তুলনায় গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব খুবই কম। বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব তুলনা করিতে হইলে তাহাদের ঘনত্বকে একই চাপ এবং

উষ্ণতায় নির্ণয় করিতে হইবে। হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব অন্য সকল গ্যাসের ঘনত্ব অপেক্ষা কম।

4. আপেক্ষিক ঘনত্ব

কঠিন এবং তরল জিনিসের ঘনত্ব জলের সঙ্গে তুলনা করিয়া প্রকাশ করিবার রীতি আছে। ইহার জন্য 'আপেক্ষিক ঘনত্ব' বা আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity or relative density) কথাটি ব্যবহৃত হয়।

$$\text{কোনও পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব} = \frac{\text{(সেই) পদার্থের ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর}}।$$

এক ঘন সেন্টিমিটার পারদের ভর 13·6 গ্রাম কিন্তু এক ঘন সেন্টিমিটার জলের ভর এক গ্রাম। সুতরাং পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6। স্বর্ণের আপেক্ষিক গুরুত্ব 19 3, অর্থাৎ স্বর্ণ সম-আয়তন জলের তুলনায় 19 3 গুণ ভারী।

5. গ্যাসীয় পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব

গ্যাসীয় পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব হাইড্রোজেন গ্যাসের সহিত তুলনায় প্রকাশ করা হয়।

(কোনও) গ্যাসীয় পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব

$$= \frac{\text{নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় (সেই) পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{একই চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব}}।$$

6. কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার পদ্ধতি দশম অধ্যায়ে আলোচিত হইবে।

অনুশীলনী

[এই অনুশীলনীর অন্তর্গত অঙ্কগুলি করিবার সময় নিম্নলিখিত সম্বন্ধগুলির সাহায্য লওয়া যাইতে পারে।

পারদের ঘনত্ব = 13 6 gm/cc
বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব = 1 gm/cc (সি জি এস পদ্ধতিতে)
= 62 5 lbs/cu ft (এফ্ পি এস্ পদ্ধতিতে)
1 ফুট = 30 48 সে মি.
1 পাউণ্ড = 453 6 গ্রাম
1 লিটার = 1000 ঘন সেন্টিমিটার
গোলকের আয়তন = $\frac{4}{3}\pi R$
সিলিণ্ডারের বা বেলনের আয়তন = $\pi R \times h$
1 গ্যালন = 10 পাউণ্ড জলের আয়তন
= 4 54 লিটার]

1. You are to take (i) 200 gms of water, (ii) 200 gms of kerosene in a beaker. How can you do this without using a balance? (density of kerosene = 0·8 gm/cc.)

একটি বীকারে (i) 200 গ্রাম জল, (ii) 200 গ্রাম কেরোসিন লইতে হইবে। তুলাযন্ত্রের সাহায্য ব্যতীত ইহা কিরূপে করা যাইতে পারে? (কেরোসিনের ঘনত্ব = 0·8 gm/cc)

2. What is 'density'? How will you proceed to determine the density of the following?—
   (i) a wooden cube,
   (ii) a brass cylinder,
   (iii) a glass marble.

ঘনত্ব কাহাকে বলে? তোমাকে নিম্নলিখিত জিনিসগুলির ঘনত্ব নির্ণয় করিতে বলা হইল—
   (i) একটি কাঠের ঘনক,
   (ii) একটি পিতলের বেলন,
   (iii) একটি কাচের মার্বেল।

তুমি কিভাবে নির্ণয় করিবে?

3. The mass of a lead ball is 250 gms. What is its volume? (density of lead is 11·4 gm/cc) [21 9 cc]

একটি সীসার বলের ভর 250 গ্রাম, উহার আয়তন কত? (সীসার ঘনত্ব = 11·4 gm/cc) [উঃ 21·9 cc.]

4. The radius of a brass sphere is 1·8 cm and its mass is 210 gm. What is its density? [8 6 gm/cc]

একটি পিতলের বলের ব্যাসার্ধ 1 8 cm এবং উহার ভর 210 গ্রাম। ইহার ঘনত্ব কত? [8 6 gm/cc.]

5. How many 3-litre bottles are necessary to keep 100 gallons of sulphuric acid of density 1 8 gm/cc.? [152]

1·8 gm/cm^3 ঘনত্ব বিশিষ্ট 100 গ্যালন সালফিউরিক অ্যাসিড রাখিতে 3 লিটার আয়তনের কয়টি বোতলের প্রয়োজন হইবে? [উঃ 152]

6. The internal and external radii of a metal sphere are respectively 10 and 11 cm and its mass is 9000 gm. Find its density. [6 5 gm/cc.]

ধাতুনির্মিত একটি ফাঁপা বলের অন্তর্ব্যাস ও বহির্ব্যাস যথাক্রমে 10 cm ও 11 cm. ইহার ভর 9000 গ্রাম হইলে ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উঃ 6 5 gm/cc.]

7. How will you determine the density of the following ?—
(i) a glass stopper, (ii) a piece of sugar-candy.

নিম্নলিখিত জিনিসগুলির ঘনত্ব কি উপায়ে নির্ণয় করিবে —

(i) একটি কাচের ছিপি,

(ii) এক টুকরা মিছরি।

8. A 50 cm. long copper wire weighs 25 gm. Find (i) the area of cross-section, (ii) the radius of the wire if the density of copper is 8 9 gm/cc [(i) ·056 sq cm, (ii) ·268 cm.]

50 সে মি. দীর্ঘ একটি তামার তারের ওজন 25 গ্রাম। তামার ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 8·9 গ্রাম হইলে তারের (i) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, (ii) ব্যাস নির্ণয় কর।
[উঃ (i) 056 বর্গ সে মি. (ii) ·268 সে. মি]

9. What is the difference between density and specific gravity ? What is meant by the density of a gas ?

ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক ঘনত্বের মধ্যে পার্থক্য কি ? গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব বলিতে কি বুঝায় ?

10. Find the capacity of a cistern in litres if its length, breadth and height are respectively 10 ft, 8 ft and 5 ft ? How much salt water of density 1 2 gm/cc will it hold ?
[11320 litres, 13584 kilogram.]

একটি চৌবাচ্চার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা যথাক্রমে 10 ফুট, 8 ফুট এবং 5 ফুট। লিটারে ইহার ধারকত্ব নির্ণয় কর। প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 1 2 গ্রাম ঘনত্ব বিশিষ্ট কি পরিমাণ লবণজল এই চৌবাচ্চায় ধরিবে ? [উঃ 11320 লিটার, 13584 কিলোগ্রাম]

11. A flask weighs 75 gm, 705 gm and 117 gm respectively when filled with water, mercury and sulphuric acid. Find the density of sulphuric acid [1 53 gm/cc]

একটি কাচের ফ্লাস্কের জলপূর্ণ, পারদপূর্ণ এবং সালফিউরিক অ্যাসিডপূর্ণ অবস্থায় ওজন যথাক্রমে 75 গ্রাম, 705 গ্রাম এবং 117 গ্রাম। সালফিউরিক অ্যাসিডের ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উঃ 1 53 gm/cc.]

দশম অধ্যায়

উদস্থিতি-বিজ্ঞান

(Hydrostatics)

1. চাপ (Pressure)

হাতের তালুর উপর একটি বই রাখ। বইয়ের সম্পূর্ণ ভার হাতের উপর পড়িবে এবং সেজন্য হাতের উপর একটি চাপ অনুভব করিবে। শুধু বই নয়, প্রত্যেক জিনিসই নিজ ওজনের জন্য নীচের দিকে চাপ দেয়। বইটি হাতের উপর না রাখিয়া টেবিলের উপর রাখিলে একই চাপ টেবিলের উপর পড়িবে। আচ্ছা, এখন বইটিকে টেবিলের উপর শোয়াইয়া না রাখিয়া যদি খাড়া করিয়া রাখা যায়, তবে কি হইবে? এক্ষেত্রেও বইটির সম্পূর্ণ ভার টেবিলের উপর পড়িবে কিন্তু পড়িবে অনেকখানি কম জায়গার উপর। মোট চাপ (thrust) দুই ক্ষেত্রে একই কিন্তু প্রথম ক্ষেত্র অপেক্ষা দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রতি একক ক্ষেত্রফল স্থানের উপর চাপ বেশী পড়িবে। কোনও স্থানের উপর চাপ বলিতে আমরা একক ক্ষেত্রফল স্থানের উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাই বুঝি। সুতরাং টেবিলের উপর বইটির চাপ প্রথম ক্ষেত্র হইতে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বেশী। মনে করা যাক, বইটি 8 ইঞ্চি দীর্ঘ, 5 ইঞ্চি প্রশস্ত ও 2 ইঞ্চি পুরু এবং ইহার ভর দুই পাউণ্ড। শোওয়াইয়া রাখা অবস্থায় বইটি টেবিলের 5×8 বা 40 বর্গ ইঞ্চি জায়গা জুড়িয়া থাকে। সুতরাং চাপের পরিমাণ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে $\frac{2}{40}$ বা $\frac{1}{20}$ পাউণ্ড ভরের ভার। খাড়া অবস্থায় বইটি মাত্র 5×2 বা 10 বর্গ ইঞ্চি স্থান জুড়িয়া থাকে। সুতরাং এই অবস্থায় চাপের পরিমাণ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে $\frac{2}{10}$ বা $\frac{1}{5}$ পাউণ্ড—চারি গুণ বেশী।

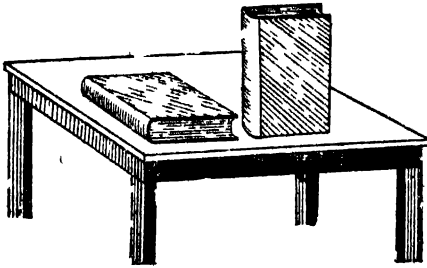



Fig 50
টেবিলের উপর শোয়ান এবং দাঁড় করান বই

2. কোনও বিন্দুতে চাপ (Pressure at a point)

কোনও সমতল ক্ষেত্রে সর্বত্র চাপের পরিমাণ এক নাও হইতে পারে। সে স্থলে বলা হয় তলের বিভিন্ন বিন্দুতে চাপ বিভিন্ন এবং কোনও বিশেষ বিন্দুতে চাপ বলিতে সেই বিন্দুকে ঘিরিয়া একক ক্ষেত্রফলের উপর যে চাপ পড়ে তাহাই বুঝায়।

3. তরল পদার্থের চাপ (Pressure of liquids)

কঠিন পদার্থের মত তরল পদার্থেরও ভর এবং ভার আছে এবং সেজন্য ইহারাও চাপ দেয়। কিন্তু কঠিন পদার্থের চাপের সঙ্গে তরল পদার্থের চাপের পার্থক্য আছে। আমরা দেখিতে পাই কোনও কঠিন পদার্থ যেখানে অবস্থিত থাকে সেখানে নিজ ওজনের জন্য নীচের দিকে চাপ দেয়। কিন্তু তরল পদার্থ যেখানে সেখানে রাখা যায় না, রাখিবার জন্য পাত্র বা আধারের প্রয়োজন হয়। তরল পদার্থ শুধু নীচের দিকে পাত্রের তলদেশেই চাপ দেয় না, পাত্রের গায়ে পার্শ্বদেশেও চাপ দেয়। আমরা সকলেই দেখিয়াছি জল-ভরতি কলসী বা হাঁড়ি যেখানেই ফুটা হউক না কেন সেখান দিয়াই সবেগে জল বাহির হইতে থাকে। ইহা হইতেই বুঝা যায় যে তরল পদার্থ কেবল নীচের দিকে চাপ দেয় না, অন্যান্য দিকেও দেয়। এমন কি তরল পদার্থ উপরের দিকেও চাপ দেয়। একটি ভরা কলসী বা অন্য কোনও ভারী বস্তু এমনি যত ভারী বলিয়া বোধ হয় জলের মধ্যে ডুবান অবস্থায় তাহা অপেক্ষা অনেক কম ভারী বোধ হয়। ইহার কারণ জলের ঊর্ধ্বচাপ।

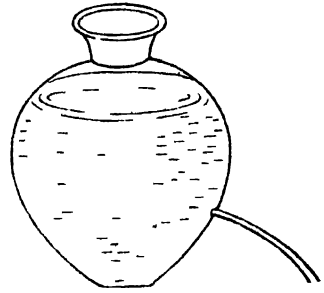



Fig 51 – তরল পদার্থের পার্শ্বচাপ

4. তরল পদার্থের নিম্ন, পার্শ্ব ও ঊর্ধ্বচাপ সম্বন্ধে কয়েকটি পরীক্ষা

পরীক্ষার ফলে জানা গিয়াছে যে, তরল পদার্থের অভ্যন্তরে কোনও বিন্দুতে তরল পদার্থের চাপ নির্ভর করে সেই তরল পদার্থের ঘনত্ব ও তরল পদার্থের উপরিতল হইতে সেই বিন্দুর গভীরতার উপর। নিম্ন, পার্শ্ব ও ঊর্ধ্ব—সকল চাপ সম্বন্ধেই একথা সত্য। তরল পদার্থের চাপ যে গভীরতার উপর নির্ভর করে এবং কোনও বিন্দুতে নিম্ন, পার্শ্ব ও ঊর্ধ্বচাপ যে সমান তাহা কয়েকটি সুন্দর পরীক্ষা দ্বারা

সহজেই প্রমাণ করা যায়। এখন আমরা এইরূপ কয়েকটি [illegible] কথা আলোচনা করিব।

পরীক্ষা : এক মুখ বন্ধ একটি লম্বা টিনের চোঙ সংগ্রহ কর। ইহার গায়ে উপর হইতে নীচে একটু দুরে দুরে A, B, C তিনটি ছিদ্র কর। তারপর মোম দিয়া ছিদ্রগুলি বন্ধ কর এবং চোঙটি জলে ভরতি কর। এইবার একটি পিন দিয়া তাড়াতাড়ি A, B, C ছিদ্রগুলির মুখের মোম ফুটা করিয়া দাও। দেখ, C ছিদ্রপথে জল বাহির হইয়া সর্বাপেক্ষা দুরে পড়িতেছে কিন্তু সর্বোচ্চ ছিদ্রপথ A দিয়া জল নিকটে পড়িতেছে। এই পরীক্ষা দ্বারা জলের পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হইতেছে এবং কোনও বিন্দুতে চাপ যে গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়িতে থাকে তাহাও বুঝা যাইতেছে।

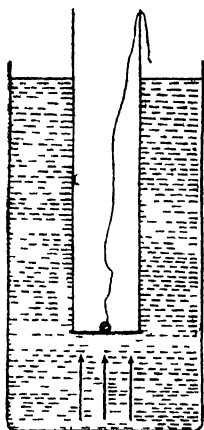



Fig 52
তরল পদার্থের গভীরতা বৃদ্ধির সহিত পার্শ্বচাপ বৃদ্ধি

Fig 53
জলের উর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ

পরীক্ষা : একটি বড় কাচের পাত্র প্রায় অর্ধেক জলে পূর্ণ কর। তারপর সাত আট ইঞ্চি লম্বা একটি মোটা কাচের নল এবং ইহার মুখের মাপ অপেক্ষা একটু বড একটি টিনের চাকতি সংগ্রহ কর। চাকৃতিটির মাঝখানে ঝালা দিয়া একটি ছোট আংটা লাগাইয়া লও। এইবার আংটার সঙ্গে একটি সূতা বাঁধিয়া কাচের নলের ভিতব দিযা টানিয়া ধবিলেই নলেব এক মুখ বন্ধ হইয়া যাইবে। এই অবস্থায় চাকৃতিসহ নলটি বড় কাচেব পাত্রেব জলের মধ্যে বেশ খানিকটা ঢুকাইয়া দিয়া সূতাটি ছাড়িয়া দাও। দেখিবে, চাকৃতিটি পড়িতেছে না—নলের মুখে আটকাইয়া আছে। জলের উর্ধ্বচাপ চাকৃতিটিকে উপর দিকে ঠেলিতেছে বলিয়া চাকৃতিটি পড়িতেছে না।

...নলের মধ্যে আস্তে আস্তে জল ঢালিতে থাক। যখন নলের মধ্যে জলতল বাহিরের জলতলের সঙ্গে সমান হইবে তখনই চাকৃতিটি পড়িয়া যাইবে। নলের ভিতরের জল চাকৃতির উপর নিম্ন চাপ দিতেছে এবং বাহিরের জল চাকৃতির তলদেশে ঊর্ধ্বচাপ দিতেছে। নিম্নচাপ যখন ঊর্ধ্বচাপের সমান হয় তখনই চাকৃতিটি নিজ ওজনের জন্য পড়িয়া যায়। এই পরীক্ষায় বুঝা গেল যে চাপ জলের উচ্চতার উপর নির্ভর করে এবং তরল পদার্থের অভ্যন্তরে কোনও বিন্দুতে ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান।

পরীক্ষা ঃ সরু ছিদ্র বিশিষ্ট একটি লম্বা কাচের নল লইয়া উহার একটি মুখ রবারের নলের সাহায্যে একটি কাচের ফানেলের সহিত সংযুক্ত কর (চিত্র দেখ)। ফানেলের মুখে একটি পাতলা রবারের চাদর শক্ত করিয়া বাঁধিয়া দাও। কাচের নলের মধ্যে এক ফোঁটা রঙীন জল ঢুকাইয়া নলটি একটি পাতলা স্কেলের সঙ্গে বাঁধিয়া দাও এবং একটি স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে অনুভূমিক ভাবে সুবিধাজনক উচ্চতায় আটকাইয়া রাখ। রঙীন জলের ফোঁটা চাপের সূচকের (index) কাজ করে। ফানেলের মুখে রবারের উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দাও, দেখিবে সূচকটি ডানদিকে সরিয়া যাইবে। আঙ্গুল সরাইয়া লইলে সূচকটি পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসিবে। যত বেশী জোরে চাপ দিবে, সূচকটি তত বেশী ডানদিকে যাইবে এবং কতটা সরিল তাহা স্কেলের পাঠ হইতে জানা যাইবে।

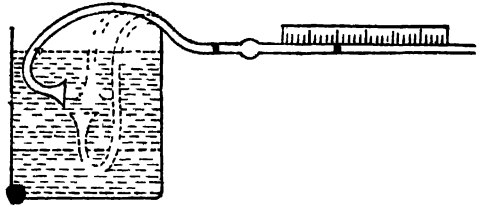



Fig 54

কোনও বিন্দুতে ঊর্ধ্বচাপ, নিম্নচাপ ও পার্শ্বচাপ সমান

এখন মুখ নীচের দিকে রাখিয়া ফানেলটি ক্রমশ একটি জলপূর্ণ পাত্রে ডুবাইতে থাক। দেখ, সূচকটি ক্রমশ ডানদিকে সরিতেছে। ইহা দ্বারা বুঝা যায় জলের গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ফানেলের মুখে চাপ বাড়িতেছে। এখন ফানেলের মুখের মধ্যবিন্দু নির্দিষ্ট গভীরতায় রাখিয়া মুখটিকে একবার নীচের দিকে, আবার উপরের দিকে অথবা পার্শ্বের দিকে ফিরাইতে থাক। দেখা যাইবে, নলের মধ্যে সূচক একই স্থানে আছে। ইহাতে প্রমাণিত হয় যে, **তরল পদার্থের মধ্যে কোনও বিন্দুতে নিম্নচাপ, পার্শ্বচাপ এবং ঊর্ধ্বচাপ অর্থাৎ সকল দিকেই চাপ সমান।**

5. উদস্থৈতিক কূট (Hydrostatic paradox)

কোনও তরল পদার্থে পূর্ণ কোন পাত্রের তলদেশে মোট চাপের (thrust) পরিমাণ তরল পদার্থের উচ্চতা এবং তলদেশের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে ; পাত্রে মোট কি পরিমাণ জল আছে তাহার উপর নির্ভর করে না। যেমন, মনে কর

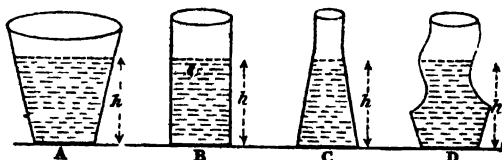



Fig 55—প্যাস্কালের পাত্র

টেবিলের উপর A, B, C, D চারিটি কাচের পাত্র আছে। ইহাদের আকৃতি এবং আয়তন বিভিন্ন কিন্তু তলদেশ সমান। ইহাদের প্রত্যেকটিতে নির্দিষ্ট উচ্চতা 'h' অবধি জল বা অন্য কোনও তরল পদার্থ ঢালা হইল। আপাতদৃষ্টিতে মনে হইবে, যেহেতু A পাত্রে জলের পরিমাণ সর্বাপেক্ষা বেশী এবং C পাত্রে সর্বাপেক্ষা কম সুতরাং A পাত্রের তলদেশে চাপ সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে এবং C পাত্রের তলদেশে চাপ সর্বাপেক্ষা কম হইবে। প্রকৃতপক্ষে প্রত্যেক পাত্রের তলদেশেই মোট চাপ সমান হইবে। আপাতদৃষ্টিতে ইহা অসম্ভব মনে হয় বলিয়া এই তথ্যটিকে **উদস্থৈতিক কূট** (hydrostatic paradox) বলা হয়।

প্রসিদ্ধ ফরাসী বিজ্ঞানী ও গাণিতিক প্যাস্কালের (Pascal) নামানুসারে এই পাত্রগুলিকে প্যাস্কালের পাত্র বলা হয়।

6. উদস্থৈতিক কূটের পরীক্ষা

নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা উদস্থৈতিক কূটের সত্যতা সুন্দরভাবে প্রমাণিত হইবে।

এই পরীক্ষার জন্য প্যাস্কালের পাত্রগুলি দুইদিক খোলা রাখিয়া তৈয়ারী হয় এবং নীচের দিকে এইরূপ ব্যবস্থা থাকে যাহাতে প্রত্যেকটিকে একটি পাটাতন E এর মধ্যস্থিত গোলাকার ছিদ্রের মধ্যে প্যাঁচের সাহায্যে দাঁড় করান যায়। এই ছিদ্রের নীচে অবস্থিত D চাকৃতিটি ঐ অবস্থায় প্রত্যেক পাত্রের তলদেশ হয়। D চাকৃতিটি

L [illegible] এক প্রান্তে সংযুক্ত। লিভারটির অপর প্রান্তে একটি তুলাপাত্র আছে। তুলাপাত্রে উপযুক্ত ওজন বা বাটখারা W চাপাইলে D চাকৃতি পাত্রের তলদেশের খোলা মুখের সহিত নিশ্ছিদ্রভাবে আটকাইয়া থাকে। প্রথমতঃ যে-কোনও একটি পাত্র উপরোক্ত ভাবে E পাটাতনের উপর দাঁড় করাও। ইহার মধ্যে ধীরে ধীরে জল ঢালিতে থাক এবং লক্ষ্য কর পাত্রের মধ্যে জলের তল কতটা উঠিলে জলের চাপে D চাকৃতিটি তলদেশ হইতে আলগা হইয়া যায় এবং তলা দিয়া জল বাহির হইতে থাকে। এই অবস্থায় পাত্র মধ্যস্থিত জলতলের উচ্চতা P পিনের সাহায্যে ঠিক করিয়া রাখ। P পিনটি সূচকের কাজ করে। এইবার পাত্রটিকে খুলিয়া লও এবং একে একে অন্য পাত্রগুলি E পাটাতনের উপব দাঁড় করাইয়া অনুরূপ পরীক্ষা কর। প্রত্যেক ক্ষেত্রেই দেখিতে পাইবে জলতল P সূচক অবধি উঠিলেই D চাকৃতিটি তলদেশ হইতে আলগা হইয়া যায় এবং জল বাহির হইতে থাকে। ইহা হইতে বুঝা গেল জলের মোট চাপ পাত্রের জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না—মোট চাপ নির্ভর করে জলেব উচ্চতা এবং চাকৃতির ক্ষেত্রফলের উপর। এই পরীক্ষায় প্রত্যেক পাত্রের তলদেশ সমান বলিয়া সমান মোট চাপের জন্য প্রয়োজনীয় উচ্চতাও সমান হইতেছে।

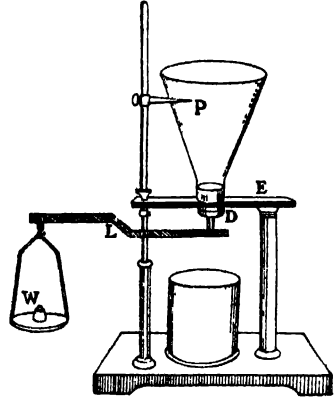



Fig 5;—উদস্থৈতিক কুটেব পরীক্ষা

7. তরলের মধ্যে কোনও বিন্দুতে চাপ

মনে কর, 55নং চিত্রে প্রত্যেকটি প্যাস্কেলের পাত্রের তলদেশ বৃত্তাকার এবং তলদেশের ক্ষেত্রফল α।

তলদেশের উপর তরলের জন্য মোট চাপ

= তলদেশের উপর অবস্থিত উল্লম্ব বেলনাকৃতি তরল স্তম্ভের ভার

= তরল স্তম্ভের ভর × g

= তরল স্তম্ভের আয়তন × ঘনত্ব × g

= উচ্চতা × তলদেশের ক্ষেত্রফল × ঘনত্ব × g

$= h\alpha dg$ [d = তরলের ঘনত্ব]

সুতরাং তলদেশের যে-কোনও বিন্দুতে চাপ $= hdg$.
অর্থাৎ তরলের অভ্যন্তরে যে-কোনও বিন্দুতে চাপ
= গভীরতা × ঘনত্ব × অভিকর্ষজনিত ত্বরণ।
চাপের সি. জি. এস্. পরম একক—ডাইন/বর্গ সে. মি. ;
চাপের এফ্. পি. এস্. পরম একক—পাউণ্ডাল/বর্গফুট।

8. জলের সমোচ্চশীলতা (Water find its own level)

জলের নিয়মই হইল বাধা না পাইলে ঢালের দিকে গড়াইয়া যাওয়া এবং সর্বনিম্ন স্থানে গিয়া জমা হওয়া। স্থির জল যেখানেই জমা হইয়া থাকে, সেখানেই জলের উপরিভাগ অনুভূমিক (horizontal) থাকে।

মনে কর, যে-কোনও ভাবেই হউক একটি পাত্রে জলতল সমতল না হইয়া CDE বক্রতল সৃষ্টি করিয়াছে। সহজেই বুঝান যায় এই অবস্থায় জল স্থির থাকিতে পারে না। জলের অভ্যন্তরে AB একটি অনুভূমিক তল কল্পনা কর। জলের নীচে A বিন্দুর গভীরতা (h_1) B বিন্দুর গভীরতা (h_2) অপেক্ষা বেশী। সুতরাং A বিন্দুতে B বিন্দু হইতে চাপও বেশী। এজন্য A বিন্দু হইতে B বিন্দুর দিকে জল যাইতে থাকিবে। যতক্ষণ পর্যন্ত না A এবং B বিন্দুতে চাপ সমান হইবে অর্থাৎ $h_1 = h_2$ হইবে ততক্ষণ জল স্থির না থাকিয়া A হইতে B'র দিকে যাইতে থাকিবে। যখন $h_1 = h_2$ হইবে অর্থাৎ জলতল অনুভূমিক হইবে তখনই জল স্থির হইবে। গ্লাসে জল লইয়া গ্লাসটি যতই কাত করা যাক না কেন, জলতল কখনও কাত হয় না, অনুভূমিক থাকে।

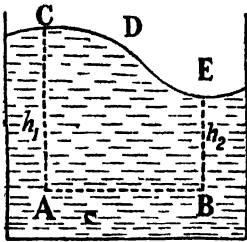



Fig 57—জলের সমোচ্চশীলতা

বিভিন্ন আধার যদি পরস্পর সংযুক্ত থাকে, তাহা হইলে আধারের আকৃতি যেমনই হউক না কেন, প্রত্যেক আধারের জলের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক তলে থাকিবে। ইহাকেই জলের **সমোচ্চশীলতা** বলে।

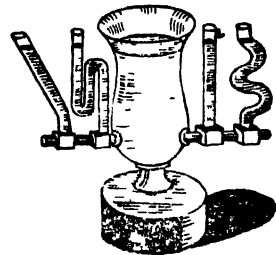



Fig 58—সমোচ্চশীলতা পরীক্ষা

হবে। বিভিন্ন রকমের U-নল লইয়া তোমরা ইহা অনায়াসে পরীক্ষা করিতে পার।

11. চাপ সঞ্চালনের নিয়ম (Law of transmission of pressure) প্যাস্কালতত্ত্ব (Pascal's law)

পরীক্ষা ঃ একটি রবারের বল ফুটা করিয়া উহা জলপূর্ণ কর। পরে উহার গায়ে পিন দিয়া কয়েকটি সূক্ষ্ম ছিদ্র কর। ফুটাটি বৃদ্ধাঙ্গুলি দ্বারা বন্ধ করিয়া অন্য আঙ্গুলগুলি দিয়া বলটির যে-কোনও স্থানে চাপ দাও। দেখিবে সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলি দিয়া তীরবেগে জল বাহির হইতেছে। এই পরীক্ষাদ্বারা আমরা বুঝিতে পারি আঙ্গুল দ্বারা প্রযুক্ত বল বা চাপ জলের ভিতর দিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হইয়াছে। চাপ সঞ্চালন তরল পদার্থের একটি ধর্ম। এই সম্পর্কে বহু পরীক্ষার ফলে প্যাস্কাল একটি সূত্র আবিষ্কার করিয়াছেন। এই সূত্র চাপ সঞ্চালনের সূত্র অথবা প্যাস্কালের সূত্র বলিয়া প্রসিদ্ধ।

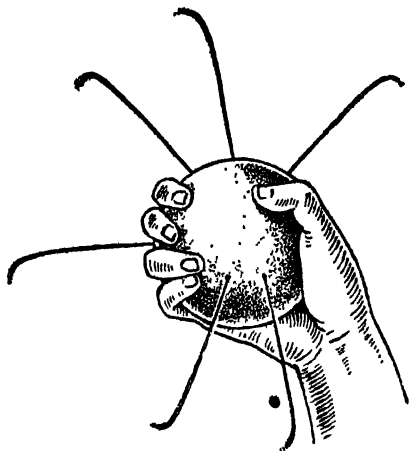



Fig 61—চাপ সঞ্চালন

প্যাস্কালের সূত্র—কোনও পাত্রে আবদ্ধ তরল পদার্থের কোথাও চাপ প্রযুক্ত হইলে ঐ চাপের মান অপরিবর্তিত থাকিয়া সর্বত্র সঞ্চালিত হয় এবং ধারক পাত্রের গাত্রে লম্বভাবে প্রযুক্ত হয়। এজন্যই আমরা দেখিতে পাই কোনও জলপূর্ণ পাত্রের গাত্রে কোথাও ফুটা হইলে সেখান দিয়া জল সবেগে লম্বভাবে নির্গত হয়।

প্যাস্কাল সূত্রের প্রয়োগ

প্যাস্কাল সূত্রকে **তরল পদার্থের মাধ্যমে বলবৃদ্ধির সূত্র**ও বলা যাইতে পারে (Law of multiplication of pressure)। কারণ এই সূত্রানুসারে কোনও প্রযুক্ত বলকে বহুগুণে বৃদ্ধি করা সম্ভব হয়। A এবং B দুইটি জলপূর্ণ

সিলিণ্ডার বা চোঙ। ইহাদের মুখে দুইটি জল-নিরুদ্ধ পিস্টন উঠানামা করিতে পারে। মনে কর, A সিলিণ্ডারের প্রস্থচ্ছেদ 72 বর্গ ইঞ্চি এবং B সিলিণ্ডারের প্রস্থচ্ছেদ 9 বর্গ ইঞ্চি অর্থাৎ A'র প্রস্থচ্ছেদ B'র প্রস্থচ্ছেদের 8 গুণ। B পিস্টনের উপর একটি 1 পাউণ্ড বাটখারা স্থাপন করিলে B সিলিণ্ডারের জলের উপর প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে $\frac{1}{9}$ পাউণ্ড চাপ প্রযুক্ত হইবে। প্যাস্কালের সূত্রানুসারে এই চাপ জলের ভিতর দিয়া অপরিবর্তিতভাবে সঞ্চালিত হইয়া A পিস্টনের তলদেশে প্রযুক্ত হইবে। যেহেতু প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে চাপের পরিমাণ $\frac{1}{9}$ পাউণ্ড, সুতরাং A পিস্টনের তলদেশে মোট চাপের (thrust) পরিমাণ হইবে $\frac{1}{9} \times 72$ বা 8 পাউণ্ড। কাজেই আমরা দেখিতেছি B সিলিণ্ডারে প্রযুক্ত বল A সিলিণ্ডারের মুখে গিয়া 8 গুণ বৃদ্ধি পাইয়াছে। A পিস্টনটিকে সাম্যে (equilibrium) রাখিতে হইলে ইহার উপর 8 পাউণ্ড বাটখারা চাপাইতে হইবে।

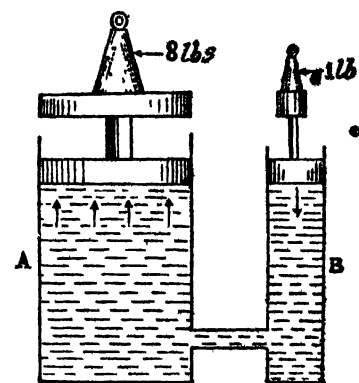



Fig 62—চাপের বিবর্ধন

সাধারণভাবে আমরা বলিতে পারি, যদি α এবং β যথাক্রমে সিলিণ্ডার দুইটির প্রস্থচ্ছেদ হয় এবং W_1 ও W_2 ইহাদের পিস্টনের উপর চাপান বাটখারার ভর হয় তাহা হইলে সাম্যাবস্থায়,

$$\frac{W_1}{\alpha} = \frac{W_2}{\beta}$$

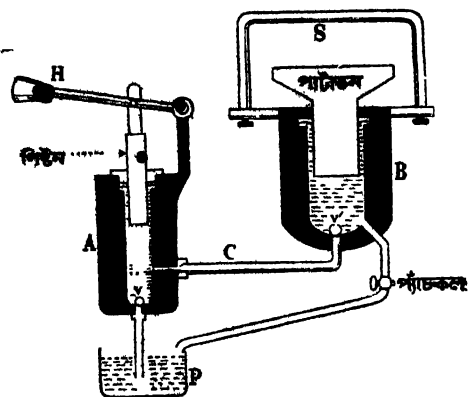
অথবা $$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\alpha}{\beta}$$

ব্রামা প্রেস বা হাইড্রলিক প্রেস (Bramah Press or Hydraulic press)

প্যাস্কাল সূত্র বা উপরোক্ত বলবৃদ্ধিনীতির একটি কার্যকরী প্রয়োগ হইতেছে, ব্রামা বা হাইড্রলিক প্রেস। ব্রামা নামক একজন ব্রিটিশ এঞ্জিনিয়ার ইহার আবিষ্কারক। এই যন্ত্রের সাহায্যে অল্প বলের বিনিময়ে প্রচণ্ড বল উৎপাদন করা

বা... গাঁট, কাপড়ের গাঁট প্রভৃতি বাঁধিবার জন্য এবং ভারী বস্তু উত্তোলন করিবার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। মোটরগাড়ি মেরামত করিবার জন্য অনেক সময় মোটরগাড়িকে উঁচু করিয়া ধরিবার প্রয়োজন হয়। এজন্য অনেক মোটর গাড়ির কারখানায় হাইড্রলিক প্রেসের ব্যবস্থা থাকে। সেই ব্যবস্থাকে হাইড্রলিক প্রেস না বলিয়া হাইড্রলিক লিফ্‌ট্ (hydraulic lift) বলা হয়।

63নং চিত্র হইতে হাইড্রলিক প্রেসের কার্য-প্রণালী বুঝিতে পারিবে।

Fig 63—ব্রামা প্রেস

A এবং B লোহার শক্ত মোটা নল। A'র প্রস্থচ্ছেদ হইতে B'র প্রস্থচ্ছেদ বহুগুণ বড়। নল দুইটি C নলদ্বারা সংযুক্ত। H হাতলের সাহায্যে একটি পিস্টনকে A নলের মধ্যে উঠান-নামান যায়। B নলের মধ্যেও একটি পিস্টন আছে। ইহার মাথায় একটি পাটাতন আছে। পাটাতনটির কিছু উপরে একটি শক্ত লোহার পাত দৃঢ়ভাবে খামের উপর আটকান আছে। তুলা, পাট কিম্বা কাপড়ের গাঁট (যাহাকে চাপ দিয়া পিষ্ট করিতে হইবে) পাটাতনের উপর রাখা হয়। V এবং V দুইটি কপাটক (valve)। ইহাদের নির্মাণ কৌশল এইরূপ যে জল ইহাদের ভিতর দিয়া উপরে উঠিতে পারে কিন্তু নীচে নামিতে পারে না। P চৌবাচ্চায় জল সঞ্চিত থাকে।

H হাতলের সাহায্যে ইহার সংলগ্ন পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিলে P চৌবাচ্চা হইতে জল উঠিয়া A এবং B নল দুইটিকে ভরতি করিয়া ফেলে। এখন H হাতলে বলপ্রয়োগ করিয়া A নলের মধ্যে পিস্টন সাহায্যে চাপ প্রয়োগ করিলে এই চাপ জলের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হইয়া B নলের তলদেশে অপরিবর্তিতভাবে প্রযুক্ত হয়। V এবং V' কপাটক দুইটি থাকিবার জন্য A এবং B নল হইতে

জল নীচে নামিয়া আসিতে পারে না। B নলের প্রস্থচ্ছেদ A নলের প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা বহুগুণ বড় বলিয়া B নলের পিস্টনের তলদেশে A নলের পিস্টনে প্রযুক্ত বল অপেক্ষা বহুগুণ বেশী বল প্রযুক্ত হয়। B নলের পিস্টনটি প্রচণ্ড বলে উপরের দিকে উঠিতে থাকে এবং ইহার ফলে পাটাতন ও 'S' পাতের মধ্যে অবস্থিত গাঁট বা অপর কোন বস্তু সঙ্কুচিত হইতে থাকে। প্যাঁচকল খুলিয়া দিলে B নল হইতে জল চৌবাচ্চায় চলিয়া যায় এবং পাটাতনটি নামিয়া আসে।

13. আর্কিমিডিসের নিয়ম (Archimedes Principle)

গ্রীক বিজ্ঞানী আর্কিমিডিসের নাম তোমরা নিশ্চয়ই শুনিয়াছ। তাঁহার সম্বন্ধে অনেক গল্প আছে। রাজার সোনার মুকুটে খাদ মিশান আছে কিনা, এই সমস্যার সমাধান করিতে গিয়া ২২০০ বৎসর পূর্বে (খ্রীঃ পূঃ ২১২ অব্দে) তিনি একটি অতি প্রয়োজনীয় নিয়ম আবিষ্কার করিয়াছিলেন। পদার্থ-বিজ্ঞানে এই নিয়ম 'আর্কিমিডিসের নিযম' নামে চিরস্মরণীয় হইয়া রহিয়াছে।

জলের অভ্যন্তরে ঊর্ধ্বচাপের অস্তিত্ব সম্পর্কে আমরা পূর্বে পড়িয়াছি এবং পরীক্ষা করিয়াছি। কোনও জিনিস জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইলে তাহার সম-আয়তন জল স্থানচ্যুত হয় এবং আংশিক নিমজ্জিত হইলে তাহা অপেক্ষা কম জল স্থানচ্যুত হয়। এই স্থানচ্যুত বা অপসারিত জল বস্তুটিকে উপরের দিকে ঠেলিয়া দিতে চায়, অর্থাৎ বস্তুটির উপর ঊর্ধ্বচাপ দেয়। এই ঊর্ধ্বচাপের আরেক নাম **প্লবতা** (buoyancy)। আর্কিমিডিস প্রমাণ করিয়াছিলেন যে ঊর্ধ্বচাপের পরিমাণ অপসারিত জলের ভারের সমান। নিজ ভারের জন্য বস্তুটি নিম্নগামী হয় আর প্লবতা উহাকে উপরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। এই কারণেই কোনও ভারী বস্তুকে জলে নিমজ্জিত অবস্থায় অপেক্ষাকৃত হাল্কা মনে হয়। ওজন করিলে দেখা যায়, বস্তুটির সম-আয়তন জলের যতটা ভার, জলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুটির ভার ততখানি কম। আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুটির ভার অপসারিত জলের ভারের সমপরিমাণ ভার কম হয়। ইহাই আর্কিমিডিসের নিয়ম।

আমরা সংক্ষেপে আর্কিমিডিসের নিয়মকে এইভাবে বলিতে পারি—**কোনও বস্তু সম্পূর্ণ বা আংশিকভাবে কোনও তরল পদার্থে নিমজ্জিত হইলে তাহার ভারের আপাত হ্রাস ঘটে ; এই আপাত হ্রাসের পরিমাণ বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরল পদার্থের ভারের সমান।**

14. আর্কিমিডিসের নিয়মের সত্যতা প্রতিপাদন (Verification of Archimedes' Principle)

এই পরীক্ষার জন্য A এবং B দুইটি পিতলের সিলিণ্ডার (চোঙ) প্রয়োজন। A সিলিণ্ডারটি নিরেট এবং B সিলিণ্ডারটি ফাঁপা—অনেকটা বালতির মত। A'র আয়তন B'র ভিতরের আয়তনের সমান অর্থাৎ প্রয়োজন হইলে A-কে B'র মধ্যে খাপে খাপে বসান যাইতে পারে। B'র উপরে একটি আংটা ও তলায় একটি হুক লাগান আছে। এই হুকের সঙ্গে A সিলিণ্ডার বা স্তম্ভকটি ঝুলাইয়া রাখা যায়।

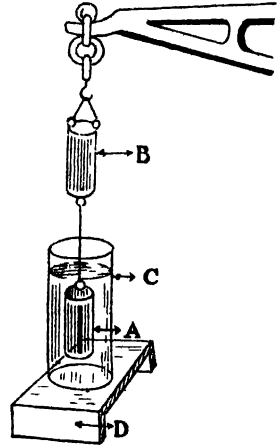



Fig 64
আর্কিমিডিসের সূত্র পরীক্ষা

একটি তুলাদণ্ডের এক প্রান্তের হুক হইতে B ও A সিলিণ্ডারদ্বয়কে চিত্রে প্রদর্শিত মত (64নং চিত্র) ঝুলাইয়া দাও এবং বিপরীত তুলাপাত্রে উপযুক্ত বাটখারা বসাইয়া তুলাদণ্ডকে সমভারযুক্ত কর। তারপর একটি কাঠের সেতুর উপর (চিত্র দেখ) একটি জলপূর্ণ বীকার সাবধানে বসাও যেন A সিলিণ্ডারটি জলের মধ্যে ডুবিয়া যায়। দেখিতে পাইবে তুলাদণ্ডের এই দিকটি উপরে উঠিয়া যাইবে এবং অপর দিকটি নামিয়া যাইবে। ইহা হইতে বুঝা যায় জলে ডুবাইলে বস্তুর ওজন কমিয়া যায়। এখন B সিলিণ্ডারটিকে একটি পিপেটের (pipette) সাহায্যে জলপূর্ণ কর। দেখা যাইবে B যখন সম্পূর্ণ জলপূর্ণ হইবে তখন তুলাদণ্ডটি আবার অনুভূমিক হইবে। ইহা হইতে এই প্রমাণিত হইল যে, জলে ডুবাইলে বস্তুর ভার বা ওজন যে পরিমাণে হ্রাস হয় তাহা সম-আয়তন জলের ভারের সমান।

15. আর্কিমিডিসের নিয়মের কতিপয় ব্যবহারিক প্রয়োগ

আর্কিমিডিসের নিয়মের কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ব্যবহারিক প্রয়োগের বিষয় নীচে আলোচিত হইল, যথা—

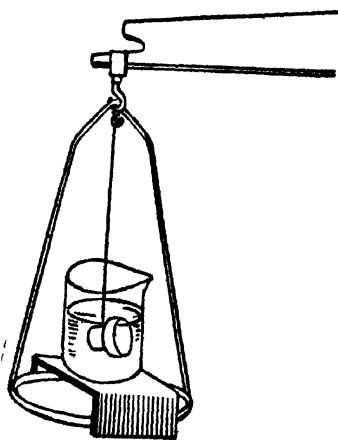
(1) কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয়,

(2) ঘনত্ব নির্ণয়,

(3) আপেক্ষিক ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়,

(4) ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয়।

(1) মনে কর, একটি অসম (irregular) বস্তু, যেমন, একটি কাচের ছিপির **আয়তন নির্ণয়** করিতে হইবে। ছিপিটিকে প্রথমে বাতাসে, পরে জলে ডুবাইয়া ওজন কর।

Fig. 65—জলে ডুবান অবস্থায় ওজন

মনে কর, ছিপিটির বাতাসে

ওজন $= W_1$ গ্রাম

জলে ওজন $= W_2$ গ্রাম

∴ ছিপিটির সম-আয়তন

জলের ওজন $= W_1 - W_2$ গ্রাম

এখন এক ঘন সেণ্টিমিটার

জলের ওজন $= 1$ gm.

∴ ছিপিটির সম-আয়তন

জলের আয়তন $= W_1 - W_2$ ঘন সে মি.

অর্থাৎ ছিপিটির আয়তন

$= W_1 - W_2$ ঘন সে. মি.

যদি ছিপিটির বাতাসে ও জলে ওজন যথাক্রমে W_1 ও W_2 পাউণ্ড হয়, তাহা হইলে ছিপির আয়তন হইবে $\frac{W_1 - W_2}{62 \cdot 5}$ ঘনফুট ; কারণ, 1 ঘনফুট জলের ভর 62·5 পাউণ্ড।

(2) **ঘনত্ব নির্ণয়**—মনে কর, প্রথম উদাহরণের ছিপিটির ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

$$\text{ঘনত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{বস্তুর আয়তন}}$$

∴ ছিপিটির ঘনত্ব $= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$ গ্রাম প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে

অথবা, $\frac{W_1 \times 62 \cdot 5}{W_1 - W_2}$ পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে।

(৩) **আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয়**—মনে কর, ছিপিটির আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

$$\text{আপেক্ষিক ঘনত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভার (বা ভর)}}{\text{সম-আয়তন জলের ভার (বা ভর)}}$$

$$\therefore \text{ ছিপিটির আপেক্ষিক ঘনত্ব} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}.$$

(4) **ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয়**—মনে কর, একটি ধাতুখণ্ড খাঁটি স্বর্ণ কিনা তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। প্রথমতঃ ধাতুখণ্ডটিকে বাতাসে ওজন কর, তারপর জলে নিমজ্জিত করিয়া ওজন কর। অতঃপর 3নং উদাহরণে বর্ণিত উপায়ে ইহার আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয় কর। যদি নির্ণীত আপেক্ষিক ঘনত্ব খাঁটি স্বর্ণের আপেক্ষিক ঘনত্বের সমান না হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে ধাতুখণ্ডটি খাঁটি স্বর্ণ নহে।

16. পদার্থের ভাসন ও নিমজ্জন (Floatation or sinking of bodies)

আমরা জানি কোনও কোনও পদার্থকে জলে ছাড়িয়া দিলে আপনা আপনি ডুবিয়া যায়, আবার কোনও কোনও পদার্থকে জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে ভাসিয়া ওঠে। যেমন, এক টুকরা লোহা জলে ছাড়িয়া দিলে ডুবিয়া যায়, কিন্তু একটি কর্ক জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে ভাসিয়া ওঠে। এই পার্থক্যের কারণ কি ?

সাধারণভাবে আমরা বলিতে পারি, যে বস্তু জল অপেক্ষা ভারী তাহা জলে ডুবিয়া যায় এবং যে বস্তু জল অপেক্ষা হাল্কা তাহা জলে ভাসে। কোনও বস্তু জল অপেক্ষা ভারী বা হাল্কা বলিতে সম-আয়তন জল অপেক্ষা ভারী বা হাল্কা বুঝায়। সুতরাং যে বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব 1 এর বেশী তাহা জল হইতে ভারী এবং যে বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব 1 এর কম তাহা জল অপেক্ষা হাল্কা।

এখন ভারী বস্তু কেন ডোবে আর হাল্কা বস্তু কেন ভাসে তাহা বুঝিতে চেষ্টা করা যাক।

উপরের দৃষ্টান্তের লোহার টুকরার কথাই ধর। জলে ডুবান অবস্থায় লোহার টুকরার উপর দুইটি বল ক্রিয়া করিতেছে। প্রথম, ইহার নিজ ভার (ধর W_0) নীচের দিকে টানিতেছে। দ্বিতীয়, জলের ঊর্ধ্বচাপ ইহাকে উপরের দিকে ঠেলিতেছে। ঊর্ধ্বচাপের পরিমাণ স্থানচ্যুত অর্থাৎ লোহার সম-আয়তন জলের

ভারের (ধর W_2) সমান। সহজেই বুঝা যায় $W_1 > W_2$ হইলে লোহার টুকরা নীচে নামিবে আর $W_1 < W_2$ হইলে লোহার টুকরা ভাসিবে। কিন্তু লোহার আপেক্ষিক ঘনত্ব 7·8 অর্থাৎ লোহা সম-আয়তন জল অপেক্ষা 7·8 গুণ ভারী। সুতরাং $W_1 > W_2$। অতএব লোহা জলে ডুবিবে।

কিন্তু কর্কের ক্ষেত্রে বিপরীত ব্যাপার ঘটে। কর্কের আপেক্ষিক ঘনত্ব 1 এর কম বলিয়া কর্কের ভার W_1 সম-আয়তন জলের ভার অপেক্ষা কম। সুতরাং কর্কের উপর জলের ঊর্ধ্বচাপ নিম্নাভিমুখী ভার অপেক্ষা বেশী। অতএব কর্ক জলে ভাসে।

যদি কোনও বস্তুর ক্ষেত্রে $W_1 = W_2$ হয় তবে সে বস্তু জলের ভিতরে যে-কোনও স্থানে ভাসিতে থাকিবে—উঠিবেও না নামিবেও না।

17. ভাসমান বস্তুর সাম্যাবস্থার শর্ত (Condition of equilibrium of floating bodies)

কোনও বস্তু যখন স্থির হইয়া জলে বা অন্য তরল পদার্থে ভাসিতে থাকে তখন উহার কিয়দংশ জলের উপরে থাকে এবং কিয়দংশ জলের নীচে থাকে। বস্তুটি নিজ ওজনের (W_1) জন্য নীচের দিকে আকৃষ্ট হয় এবং জলের ঊর্ধ্বচাপের জন্য উপর দিকে উঠিতে চায়। ঊর্ধ্বচাপ W_2 বস্তুটি কর্তৃক স্থানচ্যুত (সম-আয়তন নহে) তরল পদার্থের ভারের সমান। যদি $W_1 = W_2$ হয় তবেই বস্তুটি সাম্যাবস্থায় থাকিবে এবং ইহাই সাম্যাবস্থার শর্ত। অর্থাৎ যখন কোনও বস্তু জলে বা কোনও তরল পদার্থে স্থিরভাবে ভাসে তখন ইহার ভার স্থানচ্যুত জল বা তরল পদার্থের ভারের সমান।

18. ভাসিবার কয়েকটি দৃষ্টান্ত

(1) <u>জাহাজ জলে ভাসে কেন</u>?

এক টুকরা লোহা জলে ডুবিয়া যায় কিন্তু ঐ লোহাকেই যদি পিটাইয়া বা ঢালাই করিয়া কড়াই'র আকার দেওয়া যায় তাহা হইলে উহা জলে ভাসে। ইহার কারণ, ঐরূপ আকারের জন্য কড়াই অনেক বেশী আয়তনের জল অপসারিত করিতে পারে এবং অপসারিত জলের ভার কড়াই'র ভার হইতে বেশী হয়। এই একই কারণে লোহা এবং অন্যান্য ভারী ধাতু দ্বারা তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে।

জাহাজের ভিতরটা ফাঁপা রাখিয়া তলাটা কড়াইয়ের আকারে করা হয়। এজন্য জাহাজের নিমজ্জিত অংশ বিশাল পরিমাণ জল অপসারিত করিতে পারে। ভাসমান অবস্থায় ঐ জলের ওজন সমগ্র জাহাজের ওজনের সমান। জাহাজে মাল বোঝাই করিলে জাহাজ আরও একটু বেশী ডোবে এবং নিমজ্জিত অংশের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। আবার জাহাজ সমুদ্র হইতে নদীর মধ্যে প্রবেশ করিলেও নিমজ্জিত অংশের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। ইহার কারণ নদীর জল সমুদ্রের লবণাক্ত জল অপেক্ষা হাল্কা।

(2) মানুষের সাঁতার কাটা

মানুষের দেহ সম-আয়তন জল অপেক্ষা হাল্কা কিন্তু মানুষের মাথা ভারী। এজন্য জলে ভাসা ও সাঁতার কাটার জন্য প্রথম প্রয়োজন মাথাটিকে ভাসাইয়া রাখিবার কৌশল আয়ত্ত করা। হাত পায়ের উপযুক্ত সঞ্চালনে জলে চাপ দিয়া মাথা সহ সমগ্র দেহকে ভাসাইয়া রাখিতে পারাই সাঁতার শিক্ষার প্রধান অঙ্গ। ইহা অভ্যাস করিতে হয়, আবার আপনাআপনিও হয়। জন্তু জানোয়ারের সাঁতার শিখিতে হয় না, কারণ ইহাদের মাথা জল হইতে হাল্কা। আবার সমুদ্রজল অপেক্ষাকৃত ভারী বলিয়া সমুদ্রে সাঁতার কাটা অপেক্ষাকৃত সহজ (অবশ্য যদি ঢেউ না থাকে)।

(3) কার্টেজীয় ডুবুরী (Cartesian Diver)

ইহা এক রকমের পুতুল। ইহার সাহায্যে তরল পদার্থে চাপ-সঞ্চালন এবং ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলি অতি সুন্দরভাবে প্রতিপন্ন করা যায়।

পুতুলটির ভিতরটি ফাঁপা এবং কিয়দংশ জলে ভর্তি ও কিয়দংশ বায়ুতে পূর্ণ। ইহার একটি ফাঁপা লেজ আছে এবং লেজের মধ্যে একটি ছোট ছিদ্র আছে। সাধারণ অবস্থায় ইহা ঠিক ঠিক জলে ভাসে অর্থাৎ ইহার ভার (ভিতরের জল সহ) সম-আয়তন জলের ভারের সমান।

একটি কাচের মোটা সিলিণ্ডারের দুই-তৃতীয়াংশ জলে পূর্ণ করিয়া উহার মধ্যে একটি কার্টেজীয় ডুবুরী ছাড়িয়া দাও। ডুবুরীটি জলে ভাসিতে থাকিবে। তারপর সিলিণ্ডারটির মুখ একটি পাতলা রবারের চাদর দিয়া শক্ত করিয়া বাঁধিয়া দাও। এখন রবারের চাদরের উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ

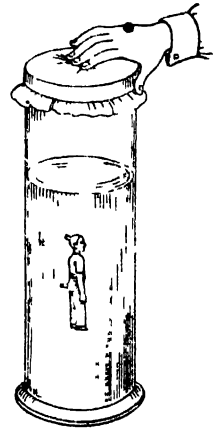



Fig 66—কার্টেজীয় ডুবুরী

দাও। দেখিবে ডুবুরীটি ধীরে ধীরে নীচের দিকে নামিতেছে। চাপ সরাইয়া লইলে ডুবুরীটি আবার উপর দিকে উঠিতে থাকিবে। ইহার কারণ কি? রবারের চাদরে চাপ দিলে সেই চাপ বায়ুর ভিতর দিয়া (তরল পদার্থের মত গ্যাসীয় পদার্থের ভিতর দিয়াও চাপ সঞ্চালিত হয়) সিলিণ্ডারের জলে সঞ্চালিত হয় এবং সেখান হইতে কার্টেজীয় ডুবুরীর ভিতরের জলে ও বায়ুতে সঞ্চালিত হয়। ইহার ফলে ডুবুরীর ভিতরের বায়ু সঙ্কুচিত হয় এবং ইহার মধ্যে আরও জল প্রবেশ করে। জল প্রবেশ করাতে ডুবুরীটির ভার বৃদ্ধি হয় এবং ইহা নীচে নামিতে থাকে। আঙ্গুলের চাপ সরাইয়া নিলে ডুবুরীটির ভিতরের বায়ুর উপরও চাপ কমিয়া যায় এবং বায়ু প্রসারিত হয়। যে অতিরিক্ত জল ডুবুরীতে প্রবেশ করিয়াছিল তাহা বাহির হইয়া যায় এবং ফলে ডুবুরীর ভার কমিয়া যাওয়ায় ইহা উপর দিকে উঠিতে থাকে।

(4) ডুবো জাহাজের কার্যপ্রণালী

ডুবো জাহাজের কার্যপ্রণালী অনেকটা কার্টেজীয় ডুবুরীর কার্যপ্রণালীর মত। ডুবোজাহাজ সমুদ্রের গভীরে উঠানামা করিতে পারে এবং চলাফেরা করিতে পারে। ইহার মধ্যে কতকগুলি প্রকোষ্ঠ থাকে। প্রকোষ্ঠগুলি প্রয়োজন মত জলপূর্ণ বা বায়ুপূর্ণ করা যায়। সমুদ্রে নিমজ্জিত করিতে হইলে প্রকোষ্ঠগুলিকে জলপূর্ণ করিয়া ডুবোজাহাজের ভার বৃদ্ধি করা হয়। আবার ভাসিতে হইলে পাম্পের সাহায্যে জল বাহির করিয়া প্রকোষ্ঠগুলি বায়ুপূর্ণ করা হয়। ইহাতে ডুবোজাহাজ হাল্কা হইয়া ভাসিয়া উঠে।

(5) বায়ুতে বেলুনের ভাসন

জলের মত বায়ুরও প্লবতা আছে এবং এজন্যই বায়ুতে বেলুন ওড়ান সম্ভব হয়। বেলুনের অভ্যন্তর বায়ু হইতে হাল্কা কোন গ্যাস, যেমন—হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম দ্বারা পূর্ণ থাকে। এজন্য এই গ্যাসসহ বেলুনের ওজন বেলুন কর্তৃক অপসারিত বায়ুর ভার অপেক্ষা কম হয় অর্থাৎ বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ বেলুনের ভার হইতে বেশী হয়। ইহার ফলে বেলুন উপরে উঠিতে থাকে। যত উপরে উঠা যায় বায়ু তত হাল্কা হইতে থাকে। বেলুন উঠিতে উঠিতে যখন এমন হাল্কা বায়ুর মধ্যে গিয়া পড়ে যে ইহার ভার আর অপসারিত বায়ুর ভার হইতে কম থাকে না তখন বেলুন আর উপরে উঠিতে পারে না।

19. বায়ুতে আর্কিমিডিসের সূত্র প্রয়োগ

আর্কিমিডিসের সূত্রানুযায়ী তরল পদার্থে নিমজ্জিত বস্তুর আপাত ভার উহার প্রকৃত ভার অপেক্ষা অপসারিত তরলের ভারের সমান কম হয়। আর্কিমিডিসের এই সূত্র বায়ুতেও প্রয়োজ্য। অর্থাৎ বায়ুতে নিমজ্জিত বস্তুর ভার প্রকৃত ভার অপেক্ষা অপসারিত বায়ুর ভার পরিমাণ কম। কিন্তু অপসারিত বায়ুর ভার অত্যন্ত কম বলিয়া আমরা সাধারণতঃ কোনও বস্তুর বায়ুতে ভারকেই উহার প্রকৃত ভার বলিয়া ধরি। কঠিন ও তরল পদার্থের বেলায় এইরূপ ধরাতে বিশেষ ভুল না হইলেও গ্যাসীয় পদার্থের বেলায় এরূপ ধরা চলে না। বায়ুশূন্য স্থানে যে ভার হয় তাহাই বস্তুর প্রকৃত ভার।

বস্তুর প্রকৃত ভার এবং বায়ুতে আপাত ভার ব্যাবোস্কোপ নামক একটি যন্ত্রদ্বারা অতি সুন্দরভাবে দেখান যায়।

একটি খুব ছোট তুলার একদিকে একটি কর্কের বড় গোলক এবং অন্যদিকে সীসার বাটখারা রাখিয়া তুলাদণ্ডটিকে অনুভূমিক রাখা হয়। তারপর বাটখারা ও কর্ক সমেত তুলাটিকে একটি বড় কাচের আধারে রাখিয়া পাম্পের সাহায্যে আধার হইতে বায়ু নিষ্কাশন করা হয়। তখন দেখা যায় তুলাযন্ত্রের কর্কের দিক নীচে নামিয়া গিয়াছে অর্থাৎ কর্কের দিকের ভার বাড়িয়া গিয়াছে। এই পরীক্ষায় বুঝা গেল কর্কের প্রকৃত ভার বায়ুতে আপাত ভার অপেক্ষা বেশী।

20. এক মণ তুলা বেশী ভারী না এক মণ লোহা বেশী ভারী ?

প্রশ্নটা শুনিতে অদ্ভুত লাগিলেও ইহাতে ভাবিবার বিষয় আছে। এক মণ তুলা মাপিতে হইলে আমরা কি করি তাহাই প্রথমে ভাবা যাক। একটি বড় দাঁড়িপাল্লা লইয়া উহার একদিকে এক মণ লোহার বাটখারা চাপাই এবং অন্যদিকে তুলা চাপাইতে থাকি যতক্ষণ না দাঁড়িপাল্লার তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হয়। এই অবস্থায় আমরা বলিয়া থাকি তুলার ভার এক মণ। কিন্তু সত্যই কি তাহাই ? না, আমরা কেবল বলিতে পারি—তুলার আপাত ভার এক মণ লোহার বাটখারার আপাত ভারের সমান হইয়াছে। তুলার আপাত ভার ইহার প্রকৃত ভার অপেক্ষা সম-আয়তন বায়ুর ভার পরিমাণ কম এবং লোহার আপাত ভারও উহার প্রকৃত ভার হইতে সম-আয়তন বায়ুর ভার পরিমাণ কম। যেহেতু তুলার আয়তন লোহার

আয়তন অপেক্ষা অনেক বেশী সুতরাং তুলার প্রকৃত ভার লোহার প্রকৃত ভার অর্থাৎ এক মণ হইতে বেশী।

পূর্বের অনুচ্ছেদে বর্ণিত কর্ক ও সীসার বাটখারার পরীক্ষার সঙ্গে এই কল্পিত পরীক্ষার তুলনা করিলে বিষয়টি আরও সহজে বুঝিতে পারিবে।

21. কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

আপেক্ষিক গুরুত্ব কাহাকে বলে তাহা আমরা জানিয়াছি এবং আর্কিমিডিসের সূত্র প্রয়োগ করিয়া কিভাবে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায় 15 অনুচ্ছেদে আমরা তাহার আভাস পাইয়াছি। এই অধ্যায়ে আমরা এই সম্বন্ধে বিশদভাবে আলোচনা করিব।

সংজ্ঞানুসারে, আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{বস্তুর ভার (বা ভর)}}{\text{সম-আয়তন জলের ভার (বা ভর)}}$

সুতরাং কোনও পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের সমস্যা প্রধানতঃ উহার সম-আয়তন জলের ভার নির্ণয় সমস্যা। ইহা নির্ণয় করিবার বিভিন্ন প্রণালী আছে কিন্তু সকল প্রণালীর মূলনীতি প্রায় একই। সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের জন্য যে যে প্রণালী অবলম্বন করা হয় তাহা এই:—

(1) উদস্থৈতিক তুলাদ্বারা (Hydrostatic balance)

(2) হাইড্রোমিটার দ্বারা

(3) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা (Specific gravity bottle)

(4) হেয়ার যন্ত্রদ্বারা (Hare's apparatus)

22. কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

(1) উদস্থৈতিক তুলাদ্বারা

(A) জল হইতে ভারী কঠিন অদ্রবণীয় পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—

পরপৃষ্ঠায় উদস্থৈতিক তুলার চিত্র দেখ। ইহার একদিকের (বাম দিকের) তুলাপাত্রটি ছোট এবং ইহার তলায় একটি হুক লাগান আছে। এই তুলার সাহায্যে কোনও বস্তুর জলে বা অন্য তরল পদার্থে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন

লওয়া সহজ হয়। সাধারণ তুলাযন্ত্রের বামদিকের তুলাপাত্রের উপর একটি কাঠের সেতু বসাইয়া উহাকেও উদস্থৈতিক তুলারূপে ব্যবহার করা যায়।

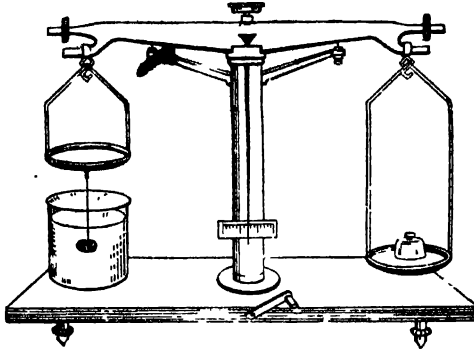



Fig 67—উদস্থৈতিক তুলা

মনে কর, একটি কাচের টুকরার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। টুকরাটিকে বাতাসে ওজন কর। ধর ভর হইল W গ্রাম। পরে ইহাকে একটি সরু সূতা দিয়া বাঁধিয়া জলে ডুবাইয়া ওজন কর। লক্ষ্য রাখিবে, ইহা যেন জল পাত্রের কোথাও ঠেকিয়া না থাকে এবং জলের মধ্যে সম্পূর্ণ ডুবিয়া থাকে। ধর, এই অবস্থায় ভর হইল W_1 গ্রাম। আমরা পাইলাম—

বায়ুতে পদার্থটির ভর = W গ্রাম

জলে পদার্থটির ভর = W_1 গ্রাম

∴ পদার্থটির সম-আয়তন জলের ভর = $W - W_1$ গ্রাম

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W}{W - W_1}.$$

(B) জল অপেক্ষা হাল্কা অদ্রবণীয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—জল অপেক্ষা হাল্কা বস্তুকে জলে ডুবাইবার নিমিত্ত ইহার সঙ্গে একটি ভারী বস্তু বাঁধিয়া দেওয়া হয়। এই ভারী বস্তুকে **নিমজ্জক** (sinker) বলা হয়।

মনে কর, মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। এক টুকরা মোম লও এবং বায়ুতে ইহাকে ওজন কর। তারপর মোমের টুকরাটি সূতায় বাঁধিয়া

তুলাদণ্ডের বাম প্রান্ত হইতে ঝুলাইয়া দাও এবং উহার সঙ্গে একটি 'নিমজ্জক' (যেমন একটি কাচের টুকরা) এমনভাবে বাঁধিয়া দাও যেন নিমজ্জকটি জলে ডুবিয়া থাকে। এই অবস্থায় ওজন লও। সর্বশেষে নিমজ্জক এবং মোমের টুকরা দুইটি একসঙ্গে জলে ডুবাইয়া ওজন কর। (নিমজ্জকের ভর এমন হওয়া উচিত যাহাতে পদার্থটি সহ ইহা জলে ডুবিয়া যায়।)

মনে কর, মোমের টুকরার বায়ুতে ওজন $= W$ গ্রাম ··· (1)

মোমের বায়ুতে + নিমজ্জকের জলে ওজন $= W_1$ গ্রাম ··· (2)

মোমের জলে + নিমজ্জকের জলে ওজন $= W_2$ গ্রাম ··· (3)

(2) হইতে (3) বিয়োগ করিয়া পাই

মোমের বায়ুতে ওজন − মোমের জলে ওজন $= W_1 - W_2$ গ্রাম

অর্থাৎ মোমের সম-আয়তন জলের ওজন $= W_1 - W_2$ গ্রাম

∴ মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W}{W_1 - W_2}$.

(C) জল অপেক্ষা ভারী কিন্তু জলে দ্রবণীয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—

এক্ষেত্রে এমন একটি তরল পদার্থ সংগ্রহ করিতে হইবে যাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা আছে বা সহজেই নির্ণয় করা যায় এবং যাহার মধ্যে পদার্থটি দ্রবণীয় নহে। তারপর এই তরল পদার্থের তুলনায় প্রদত্ত বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব উপরে বর্ণিত উপায়ে নির্ণয় করিতে হইবে। এই নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্বকে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব দ্বারা গুণ করিলেই জলের তুলনায় বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির হইবে। কারণ,

$$\text{বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর}} \times \frac{\text{সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর}}$$

= তরল পদার্থের তুলনায় বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব × তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

মনে কর, ফটকিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। এক টুকরা ফটকিরি এবং খানিকটা কেরোসিন (আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8) একটি বীকারে লও। (ফটকিরি জলে দ্রবণীয় কিন্তু কেরোসিনে অদ্রবণীয়।)

বায়ুতে ফটকিরির ওজন লও, ধর, এই ওজন = W গ্রাম

কেরোসিনে ডুবাইয়া ফটকিরির ওজন লও, ধর, এই ওজন = W_1 গ্রাম

∴ কেরোসিনের তুলনায় ফটকিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{W}{W - W_1}$

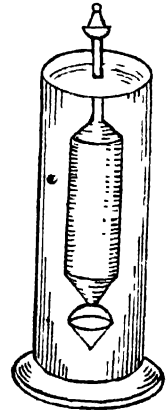
∴ (জলের তুলনায়) ফটকিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{W}{W - W_1} \times \cdot 8.$

(2) **হাইড্রোমিটার** (Hydrometer) **দ্বারা**

হাইড্রোমিটার দুই প্রকারঃ (1) নিকলসন হাইড্রোমিটার (Nicholson hydrometer), (2) সাধারণ হাইড্রোমিটার। নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায় এবং সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা কেবলমাত্র তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা যায়।

Fig 68

(A) নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা জল হইতে ভারী অদ্রবণীয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়--

নিকলসন হাইড্রোমিটারের বর্ণনা—নিকলসন হাইড্রোমিটারের চিত্রটি দেখ। ইহার প্রধান অংশ একটি ধাতুনির্মিত ফাঁপা চোঙ্। চোঙ্‌টির দুই প্রান্ত শঙ্কু আকৃতিবিশিষ্ট। উপরের দিকের শঙ্কুর সহিত একটি সরু ছোট দণ্ড (stem) সংযুক্ত। এই দণ্ডের উপরে একটি ছোট থালার মত পাত্র রহিয়াছে। এই পাত্রের উপর ছোট ছোট বাটখারা বা কঠিন পদার্থ রাখা যায়। নীচের দিকের নিকলসন হাইড্রোমিটাব শঙ্কুর সহিত বালতির মত আর একটি পাত্র আটকান আছে। এই পাত্রটির মধ্যে সীসার গুলি বা অন্য কিছু রাখিয়া পাত্রটিকে ভারী করা হয় যাহাতে পাত্রটির ভারে হাইড্রোমিটারটি জলে বা অন্য তরলে খাড়াভাবে ভাসিয়া থাকিতে পারে। উপর দিকের দণ্ডের মাঝামাঝি জায়গায় একটি দাগ কাটা থাকে। এই দাগটিকে

সূচক দাগ (index mark) বলে। পরীক্ষা করিবার সময় হাইড্রোমিটারটিকে জলে বা অন্য তরলে সর্বদা এই দাগ অবধি নিমজ্জিত করা হয়। এজন্য নিকলসন হাইড্রোমিটারকে স্থির-আয়তন-নিমজ্জনী (constant immersion) হাইড্রোমিটার বলে।

মনে কর, একটি পাথরের টুকরার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি মোটা কাচের সিলিণ্ডার জলে প্রায় পূর্ণ কর। ইহার মধ্যে একটি নিকলসন হাইড্রোমিটার ভাসাইয়া দাও। নিকলসন হাইড্রোমিটার খাড়া হইয়া ভাসিবে—উপরের দণ্ড ও পাত্রটি জলের উপরে থাকিবে। ওজন বাক্স হইতে পাত্রে এমন ওজন চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি জলের মধ্যে সূচক দাগ অবধি ডোবে। মনে কর, এই ওজন W গ্রাম। এখন এই ওজন নামাইয়া পাথরের টুকরাটি ঐ পাত্রে বসাইয়া আবার ওজন চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি পুনরায় সূচক দাগ অবধি ডোবে (পাথরের ওজন W গ্রামের কম হইতে হইবে)। ধর, এইবার যে ওজন চাপান হইল তাহা W_1 গ্রাম। তারপর পাথরের টুকরাটিকে জলের মধ্যে নীচের পাত্রে রাখিয়া পুনরায় উপরের পাত্রে ওজন চাপাও যেন হাইড্রোমিটারটি সূচক চিহ্ন অবধি ডোবে। ধর, এই ওজন W_2 গ্রাম। তাহা হইলে আমরা পাই,

পাথরের টুকরার বায়ুতে ওজন $= W - W_1$ গ্রাম

পাথরের টুকরার জলে ওজন $= W - W_2$ গ্রাম

অতএব, পাথরের টুকরার সম-আয়তন জলের ওজন $=$

$$(W - W_1) - (W - W_2) = W_2 - W_1 \text{ গ্রাম}$$

$$\therefore \text{ পাথরের টুকরার আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W - W_1}{W_2 - W_1}.$$

[জল অপেক্ষা হাল্কা বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্বও একই নিয়মে নির্ণয় করা যায়। শুধু বস্তুটিকে নীচের পাত্রে রাখিবার সময় সুতা দিয়া বাঁধিয়া দিতে হইবে। নতুবা ইহা ভাসিয়া উঠিবে।]

মন্তব্য—নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা পরীক্ষা করিবার সময় বিশেষ লক্ষ্য রাখিতে হইবে যেন হাইড্রোমিটারটি কাচের সিলিণ্ডারের গায়ে ঠেকিয়া না থাকে এবং হাইড্রোমিটারটির গায়ে বাতাসের বুদ্বুদ (air bubble) না লাগিয়া থাকে।

(3) **আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল** (Specific gravity bottle) দ্বারা জলে অদ্রবণীয় কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের বর্ণনা—

ইহা একটি ক্ষুদ্র ফ্লাস্ক বা কাচকুপী-বিশেষ। ইহার লম্বা মুখ একটি ঘষাকাচের ছিপি দ্বারা বন্ধ করা যায়। ছিপিটির দৈর্ঘ্য বরাবর একটি সরু ছিদ্র আছে। বোতলে জল বা অন্য তরল পদার্থ পূর্ণ করিয়া ছিপিটি লাগাই। দিলে অতিরিক্ত জল বা তরল পদার্থ বাহির হইয়া যায় এবং সর্বদা একটি নির্দিষ্ট আয়তনের জল বা তরল পদার্থ বোতলে থাকিয়া যায়। এই নির্দিষ্ট আয়তনের পরিমাণ, যেমন 25 c.c., 50 c.c. বোতলের গায়ে লেখা থাকে। যে সকল কঠিন পদার্থ ছোট ছোট টুক্‌রা বা গুঁড়ার আকারে পাওয়া যায় তাহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব ইহার সাহায্যে মাপা যায়। তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বও ইহার সাহায্যে সহজে মাপা যায়।

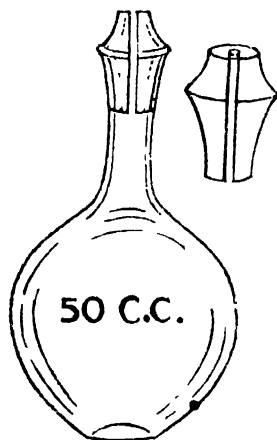



Fig. 69—আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল

মনে কর, বালির আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিতে হইবে। প্রথমে বোতলটি জলে ধুইয়া পরিষ্কার করিয়া শুষ্ক করিয়া লও এবং তুলাযন্ত্রে ছিপিসহ ইহার ভর নির্ণয় কর। মনে কর খালি বোতলের ভর W গ্রাম। বোতলের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ বালি দ্বারা ভর্তি কর এবং পুনরায় ভর (W_1) নির্ণয় কর। পরে বোতলের বাকী অংশ জলে পূর্ণ কর, ছিপি আঁটিয়া দাও এবং বোতলের বাহিরে গায়ে যে জল পড়ে তাহা মুছিয়া ভর (W_2) নির্ণয় কর। সর্বশেষে বোতল হইতে বালি ও জল ফেলিয়া দিয়া পরিষ্কার করিয়া

জলপূর্ণ করিয়া বোতলটির ভর (W_3) পুনরায় নির্ণয় কর। তাহা হইলে পাওয়া গেল—

খালি বোতলের ওজন $= W$ গ্রাম ··· (1)
খালি বোতলের ওজন + বালির ওজন $= W_1$ গ্রাম ··· (2)
খালি বোতলের ওজন + বালির ওজন + জলের ওজন $= W_2$ গ্রাম ··· (3)
জলপূর্ণ বোতলের ওজন $= W_3$ গ্রাম ··· (4)

(4) হইতে (1) বিয়োগ করিলে পাওয়া যায়

বোতলের সম-আয়তন জলের ভর $= W_3 - W$ গ্রাম

(3) হইতে (2) বিয়োগ করিয়া পাওয়া যায়

(বোতলের আয়তন — বালির আয়তন) পূর্ণস্থানের জলের ভর

$= W_2 - W_1$ গ্রাম

∴ বালির সম-আয়তন জলের ভর $= (W_3 - W) - (W_2 - W_1)$ গ্রাম
$= W_3 - W_2 + W_1 - W$ গ্রাম

(2) হইতে (1) বিয়োগ করিয়া পাওয়া যায়

বালির ভর $= W_1 - W$ গ্রাম

∴ বালির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_1 - W}{W_3 - W_2 + W_1 - W}$.

23. তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—

(A) উদস্থৈতিক তুলার দ্বারা—

পরীক্ষা ঃ মনে কর, কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। একটি বীকারে কেরোসিন ও একটি বীকারে জল লও। এমন একটি পদার্থ সংগ্রহ কর যাহা জলে এবং কেরোসিনে অদ্রবণীয়, যেমন, একটি কাচের টুকরা। প্রথমে কাচের টুকরাটিকে বায়ুতে ওজন কর। তারপর সূতায় বাঁধিয়া জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন কর। জল হইতে তুলিয়া ভাল করিয়া মুছিয়া আবার কেরোসিনে ডুবাইয়া ওজন কর।

ধর, কাচের টুকরার বাতাসে ওজন $= W$ গ্রাম
জলে ওজন $= W_1$ গ্রাম
কেরোসিনে ওজন $= W_2$ গ্রাম

∴ কাচের টুকরার সম-আয়তন জলের ওজন $= W - W_1$ গ্রাম
এবং কাচের টুকরার সম-আয়তন কোরোসিনের ওজন $= W - W_2$ গ্রাম

∴ কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W - W_2}{W - W_1}$

(B) নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা—

মনে কর, লবণ জলের (জলে লবণের দ্রব) আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

দুইটি বড় মোটা কাচের সিলিণ্ডার লও। একটিকে জল ও অপরটিকে লবণ জল দ্বারা প্রায় পূর্ণ কর। স্প্রিং-তুলা অথবা সাধারণ তুলাদ্বারা একটি নিকলসন হাইড্রোমিটারের ভর (W) নির্ণয় কর। হাইড্রোমিটারটি জলপূর্ণ সিলিণ্ডারে ভাসাইয়া দাও। তারপর ইহার উপরের পাত্রে একটি ওজনবাক্স হইতে এই পরিমাণ ওজন (W_1) স্থাপন কর যাহাতে হাইড্রোমিটারটি সূচক চিহ্ন অবধি নিমজ্জিত হয়। তারপর হাইড্রোমিটারটি জল হইতে তুলিয়া ভাল করিয়া মুছিয়া দ্বিতীয় সিলিণ্ডারে লবণ জলের মধ্যে ভাসাও। পুনরায় ইহার উপরের পাত্রে এমন ওজন (W_2) চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি সূচক চিহ্ন অবধি নিমজ্জিত হয়।

উভয়ক্ষেত্রেই হাইড্রোমিটারটি সূচক অবধি নিমজ্জিত হওয়াতে হাইড্রোমিটার কর্তৃক সম-আয়তন জল ও লবণ জল অপসারিত হয়।

সুতরাং ভাসনের শর্তানুযায়ী,

হাইড্রোমিটার কর্তৃক অপসারিত জলের ভর $= W + W_1$ গ্রাম

হাইড্রোমিটার কর্তৃক অপসারিত লবণ জলের ভর $= W + W_2$ গ্রাম

$\therefore$ লবণ জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W + W_2}{W + W_1}$.

(C) সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা—

সাধারণ হাইড্রোমিটারের বর্ণনা—সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা অতি দ্রুত সরাসরি তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা যায়। সাধারণ হাইড্রোমিটারের চিত্রটি দেখ। ইহার উপরের অংশ একটি ফাঁপা কাচের নল এবং নীচের অংশ ঐ নলের সঙ্গে যুক্ত একটি লম্বা কুণ্ড (bulb)। এই কুণ্ডের মধ্যে পারদ বা সীসা ভর্তি করিয়া হাইড্রোমিটারটির এমন ওজন করা হয় যাহাতে ইহা কোনও তরলে খাড়াভাবে ভাসিতে পারে। যে তরলেই ভাসুক না কেন, সকল সময়েই ভাসনের নিয়মানুযায়ী অপসারিত তরলের ভর হাইড্রোমিটারের ভরের সমান।

জলে ইহা একটি নির্দিষ্ট চিহ্ন অবধি ডোবে। নলের ভিতরে একটি কাগজের স্কেল আছে। জলে যে অবধি ডোবে সেখানে কাগজের স্কেলে 1,000 লেখা থাকে। জল হইতে হাল্কা তরল পদার্থ যেমন, কেরোসিনে ইহা আরও বেশীদূর অবধি ডুবিবে। মনে কর, 800 চিহ্নিত দাগ অবধি ডুবিল। বুঝিতে হইবে কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8। জল হইতে ভারী কোনও তরলে হাইড্রোমিটারটি আরও কম ডুবিবে। মনে কর, কোনও দ্রবণে হাইড্রোমিটারটি 1250 চিহ্ন অবধি ডুবিয়াছে। বুঝিতে হইবে ঐ দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·25। ইহাই সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের প্রণালী। বিভিন্ন ঘনত্ব-বিশিষ্ট তরলে ইহার বিভিন্ন আয়তন নিমজ্জিত হয় বলিয়া এই হাইড্রোমিটারকে বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী (variable immersion) হাইড্রোমিটার বলে।

Fig 70
সাধারণ হাইড্রোমিটার

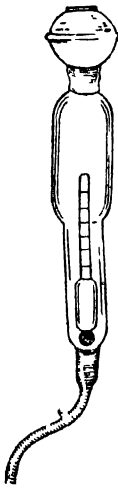



Fig 71
সেলের অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা হাইড্রোমিটার

বিশেষ বিশেষ কাজের জন্য বিভিন্ন ধরনের হাইড্রোমিটার আছে। দুধে জল মিশান আছে কিনা পরীক্ষা করিবার জন্য যে হাইড্রোমিটার ব্যবহৃত হয় তাহাকে ল্যাক্টোমিটার (lactometer) বলে। স্টোরেজ সেলের (storage cell) বা অ্যাকুমুলেটারের (accumulator) মধ্যে যে সালফিউরিক অ্যাসিড থাকে তাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিবার জন্য এক বিশেষ ধরনের হাইড্রোমিটার ব্যবহৃত হয়।

(D) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা—

মনে কর, কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল জল দিয়া ধুইয়া পরিষ্কার কর। ইহাকে শুষ্ক করিয়া তুলাযন্ত্রে ইহার ওজন লও। পরে বোতলটি জলপূর্ণ করিয়া ওজন লও।

অবশেষে জল ফেলিয়া দিয়া পুনরায় বোতলটিকে শুষ্ক কর এবং কেরোসিনে ভর্তি করিয়া ওজন লও। ধর,

	খালি বোতলের ওজন	$= W$ গ্রাম
	জলপূর্ণ বোতলের ওজন	$= W_1$ গ্রাম
	কেরোসিনপূর্ণ বোতলের ওজন	$= W_2$ গ্রাম
∴	বোতলের সম-আয়তন জলের ওজন	$= W_1 - W$ গ্রাম
এবং	বোতলের সম-আয়তন কেরোসিনের ওজন	$= W_2 - W$ গ্রাম

∴ কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_2 - W}{W_1 - W}$.

(E) U-নল দ্বারা (Balancing column method)

এই উপায়ে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় প্রণালী 10নং অনুচ্ছেদে উল্লিখিত হইয়াছে। যে দুই তরল পদার্থ পরস্পর মিশে না (যেমন, জল ও তেল বা জল ও পারদ) ইহা দ্বারা তাহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

মনে কর, পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। একটি লম্বা U-নল ক্ল্যাম্প ও স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে খাড়া করিয়া রাখ। ইহার একমুখ দিয়া খানিকটা পারদ ঢাল। পারদ U-নলের দুই বাহুতে একই তলে (level) স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। তারপর U-নলের মধ্যে জল ঢালিতে থাক। বেশ খানিকটা জল ঢালিবার পর দেখ জলের বাহুতে পারদের তল নামিয়া গিয়াছে ও অন্য বাহুতে উপরে উঠিয়াছে। পারদ ও জলের সংযোগ-তল হইতে U-নলের উভয় বাহুতে জলস্তম্ভ ও পারদস্তম্ভের উচ্চতা একটি অর্ধ-মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপ। মনে কর, ইহারা যথাক্রমে h ও h'. পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব যদি S হয়, তবে

$$S = \frac{h}{h'}.$$

(F) হেয়ার যন্ত্র (Hare's apparatus) দ্বারা

হেয়ার যন্ত্রের বিবরণ—এই যন্ত্র প্রধানতঃ খুব লম্বা বাহু বিশিষ্ট একটি উল্টান U-নল। 72নং চিত্র দেখ। সাধারণতঃ U-নলটি একটি কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে উল্লম্বভাবে (vertically) আটকান থাকে। দুই বাহুর খোলা মুখ দুইটি বীকারে ডুবান থাকে। U-নলের বাঁকা-অংশের মধ্যস্থলে একটি ছোট কাচনল ও তাহার

সঙ্গে একটি লম্বা রবারের নল সংযুক্ত আছে। রবারের নলের গায়ে একটি ক্লীপ (clip) লাগান আছে। ইহার সাহায্যে নলের ছিদ্র খোলা যায় বা বন্ধ করা যায়। রবারের নলের অপর প্রান্তেও একটি ছোট কাচের নল লাগান থাকে। বীকার দুইটির মধ্যে দুই রকমের তরল পদার্থ থাকে। কোনও কোনও যন্ত্রে U-নলের বাহু দুইটির গায়ে মিলিমিটার ও সেণ্টিমিটার স্কেলের দাগ কাটা থাকে। ক্লীপ খুলিয়া নলে মুখ লাগাইয়া বাতাস টানিলে দেখা যায় U-নলের বাহু দুইটির মধ্যে বীকার দুইটি হইতে তরল পদার্থ উপরে ওঠে এবং তখন ক্লীপ আটকাইয়া দিলে সেই অবস্থাতেই থাকে। যদি দুই তরলের ঘনত্ব বিভিন্ন হয় তাহা হইলে U-নলের দুই বাহুর মধ্যে তরল স্তম্ভের উচ্চতাও বিভিন্ন হয়। মনে কর, তরল পদার্থ দুইটির ঘনত্ব যথাক্রমে d এবং d' এবং ইহাদের উচ্চতা h ও h'। প্রমাণ করা যায়,

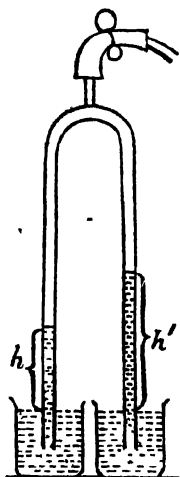



Fig 72—হেয়ার যন্ত্র

$$\frac{d}{d'} = \frac{h'}{h}.$$

যদি $d' = 1$ হয় অর্থাৎ একটি তরল যদি জল হয় তবে অপরটির আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে $d = \frac{h'}{h}$.

মনে কর, রুপার সালফেট দ্রবের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে।

পরীক্ষা : একটি হেয়ার যন্ত্র ঠিকভাবে (অর্থাৎ উল্লম্বভাবে) দাঁড় করাও। দুইটি বীকার পরিষ্কার করিয়া একটির মধ্যে জল ও অপরটির মধ্যে কপার সালফেট দ্রব লও। দেখিও, যেন দুইটি বীকারেই U-নলের খোলা মুখ দুইটি বেশ খানিকটা ডুবিয়া থাকে। এখন রবারের নলের গায়ে ক্লীপটি আল্‌গা করিয়া কাচের নলে মুখ দিয়া আস্তে আস্তে বাতাস টান (জোরে টানিলে তরল পদার্থ মুখের ভিতর চলিয়া যাইতে পারে)। দুই বাহুতেই তরল পদার্থ বেশ কিছুদূর উঠিলে ক্লীপ আটকাইয়া দাও। তারপর U-নলের বাহুতে অঙ্কিত স্কেলের সাহায্যে অথবা একটি অর্ধ-মিটার

স্কেলের সাহায্যে বীকারের ভিতরের লেভেল হইতে U-নলের মধ্যে জলস্তম্ভ ও কপার সালফেট দ্রব স্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় কর। মনে কর, জলস্তম্ভের উচ্চতা h', কপার সালফেট দ্রবের উচ্চতা h.

তাহা হইলে, কপার সালফেট দ্রবের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{h'}{h}$.

এইরূপে h ও h' এর বিভিন্ন মান লইয়া পাঁচ ছয় বার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর এবং তাহা হইতে গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব গণনা কর।

Worked out examples

1. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ক্ষুদ্রতর পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এক বর্গফুট এবং বৃহত্তর পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 20 বর্গফুট। ক্ষুদ্রতর পিস্টনের উপর 200 পাউণ্ড পরিমিত বল প্রয়োগ করিয়া বৃহত্তর পিস্টনের উপর কত ভার উত্তোলন করা যাইবে ?

আমরা জানি হাইড্রলিক প্রেসে

$$\frac{\text{বড় পিস্টনের উপর ভার (W)}}{\text{ছোট পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল } (w)} = \frac{\text{বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল } (\beta)}{\text{ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল } (\alpha)}$$

এক্ষেত্রে $w = 200$ পাউণ্ড

$\beta = 20$ বর্গফুট

$\alpha = 1$ বর্গফুট

$\therefore \quad W = \frac{\beta}{\alpha} \times w = \frac{20}{1} \times 200$ পাউণ্ড $= 4000$ পাউণ্ড।

2. সমুদ্রজলের আপেক্ষিক ঘনত্ব 1·025। 10 ফুট গভীরতায় প্রতি বর্গফুটে চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। এক ঘনফুট জলের ভার 62·5 পাউণ্ড।

নির্ণেয় মোট চাপ $= hdA$ (উচ্চতা × ঘনত্ব × ক্ষেত্রফল)

$= 10 \times 1{\cdot}025 \times 62{\cdot}5 \times 1$ পাউণ্ড ($\because A = 1$ বর্গফুট)

$= 640{\cdot}625$ পাউণ্ড।

3. সমুদ্রে (আপেক্ষিক ঘনত্ব 1·025) কতফুট গভীরতায় মোট চাপ বায়ুচাপের দ্বিগুণ হইবে ? (বায়ুচাপ = প্রতিবর্গ ইঞ্চিতে 15 পাউণ্ড)

যে গভীরতায় শুধু সমুদ্রজলের জন্য চাপ বায়ুচাপের সমান সেই গভীরতায় মোট চাপ বায়ুচাপের দ্বিগুণ হইবে, কারণ সমুদ্রের উপরভাগে বায়ুমণ্ডলের চাপ

পড়ে। সুতরাং নির্ণয় করিতে হইবে কতফুট গভীরতায় সমুদ্রজলের চাপ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 15 পাউণ্ড। মনে করা যাক, নির্ণেয় গভীরতা h ফুট।

h ফুট গভীরতায় প্রতি বর্গফুটে চাপের পরিমাণ

$$= h \times 1{\cdot}025 \times 62{\cdot}5 \text{ পাউণ্ড}$$

∴ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে চাপের পরিমাণ

$$= \frac{h \times 1{\cdot}025 \times 62{\cdot}5}{144} \text{ পাউণ্ড}$$

প্রশ্নানুসারে, $\frac{h \times 1{\cdot}025 \times 62{\cdot}5}{144} = 15$

$$\therefore h = \frac{15 \times 144}{1{\cdot}025 \times 62{\cdot}5} \text{ ফুট}$$

$= 33{\cdot}7$ ফুট।

4. স্বর্ণ ও রৌপ্য মিশ্রিত একটি সঙ্করধাতুর ওজন 20 গ্রাম এবং ইহার জলে ডুবান অবস্থায় ওজন 18·7 গ্রাম। স্বর্ণের পরিমাণ নির্ণয় কর। (স্বর্ণ এবং রৌপ্যের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 19·3 এবং 10·5)

জলে সঙ্করধাতুর ওজনের হ্রাস $= 20 - 18{\cdot}7$ গ্রাম

$= 1{\cdot}3$ গ্রাম

∴ এই সঙ্করধাতুখণ্ডের আয়তন $= 1{\cdot}3$ ঘন সে মি.

ধরা যাক, সঙ্করধাতুতে স্বর্ণের পরিমাণ $= m$ গ্রাম, সুতরাং রৌপ্যের পরিমাণ $= 20 - m$ গ্রাম। স্বর্ণ ও রৌপ্যের আয়তনের সমষ্টি নিশ্চয়ই সঙ্করধাতুর মোট আয়তনের সমান হইবে।

$$\text{সুতরাং } \frac{m}{19{\cdot}3} + \frac{20 - m}{10{\cdot}5} = 1{\cdot}3$$

এই সমীকরণ হইতে m-এর মান নির্ণয় কর।

5. কোনও দ্রব্যের বায়ুতে ওজন 40 গ্রাম এবং জলে ও অপর একটি তরল পদার্থে ওজন যথাক্রমে 35 গ্রাম ও 30 গ্রাম। তরল পদার্থ এবং দ্রব্যটির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

দ্রব্যটি কর্তৃক অপসারিত জলের ওজন $= 40 - 35$ গ্রাম $= 5$ গ্রাম

এবং অপসারিত তরলের ওজন $= 40 - 30$ গ্রাম $= 10$ গ্রাম

দ্রব্যটির আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{দ্রব্যটির ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}} = \dfrac{40 \text{ গ্রাম}}{5 \text{ গ্রাম}} = 8$

তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}} = \dfrac{10 \text{ গ্রাম}}{5 \text{ গ্রাম}} = 2.$

6. একটি প্রকাণ্ড বরফের টুকরা সমুদ্রজলে আংশিক ভাবে নিমজ্জিত আছে। ইহার কত অংশ জলে নিমজ্জিত আছে তাহা নির্ণয় কর। (বরফের ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 917 গ্রাম এবং সমুদ্রজলের ঘনত্ব 1·013 গ্রাম)

মনে করা যাক, বরফখণ্ডের মোট আয়তন V ঘন সে মি. ও নিমজ্জিত অংশের আয়তন V′ ঘন সে. মি.।

যেহেতু কোনও ভাসমান বস্তুর ওজন = অপসারিত তরলের ওজন

$$\therefore \quad V \times {\cdot}917 = V' \times 1{\cdot}013$$

$$\therefore \quad \frac{V'}{V} = \frac{{\cdot}917}{1{\cdot}013} = {\cdot}905.$$

7. একটি তুলাদণ্ডের দুই প্রান্ত হইতে দুইখণ্ড ধাতু সূতাদ্বারা ঝুলান অবস্থায় দুইটি পাত্রে জলের মধ্যে নিমজ্জিত আছে এবং দণ্ডটি (beam) অনুভূমিক আছে। এই ধাতুখণ্ডের ওজন এবং ঘনত্ব যথাক্রমে 32 গ্রাম এবং প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 8 গ্রাম। অন্য খণ্ডটির ঘনত্ব প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে 5 গ্রাম হইলে ইহার ওজন বাহির কর।

মনে করা যাক, দ্বিতীয় ধাতুখণ্ডের ওজন = M গ্রাম। যেহেতু তুলাদণ্ড অনুভূমিক অবস্থায় আছে সুতরাং ধাতুখণ্ডদ্বয়ের জলে আপাত ওজন সমান।

প্রথম খণ্ডটির আয়তন $= \dfrac{32}{8} = 4$ ঘন সে মি.

$\therefore$ ইহা দ্বারা অপসারিত জলের ওজন $= 4$ গ্রাম

$\therefore$ ইহার জলে আপাত ওজন $= 32 - 4$ গ্রাম $= 28$ গ্রাম

তদ্রূপ দ্বিতীয় ধাতুখণ্ডের জলে আপাত ওজন $= M - \dfrac{M}{5}$ গ্রাম

$$\therefore \quad M - \frac{M}{5} = 28 \text{ বা } M = 35 \text{ গ্রাম।}$$

8. ·6 আপেক্ষিক গুরুত্ব বিশিষ্ট একটি তরলে একটি নিকলসন হাইড্রোমিটার সূচক চিহ্ন অবধি নিমজ্জিত হয়। ইহার উপরের থালাতে 12 গ্রাম ওজন স্থাপন করিলে ইহা জলে সূচক চিহ্ন অবধি নিমজ্জিত হয়। হাইড্রোমিটারটির ওজন নির্ণয় কর।

মনে করা যাক, হাইড্রোমিটারের ওজন $= M$ গ্রাম

∴ হাইড্রোমিটার কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজন $= M$ গ্রাম

এবং অপসারিত জলের ওজন $= M + 12$ গ্রাম

∴ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{M}{M+12} = \cdot 6$

∴ $M = 17\cdot5$ গ্রাম।

9. একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ভার 14 72 গ্রাম। জল এবং অন্য একটি তরল পদার্থ দ্বারা ইহা পূর্ণ হইলে যথাক্রমে ওজন হয় 39·74 গ্রাম এবং 44·85 গ্রাম। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{44\cdot85 - 14\ 72}{39\cdot74 - 14\cdot72} = \dfrac{30\cdot13}{25\cdot02} = 1\cdot204.$

অনুশীলনী

1. What is meant by the pressure at a point in a liquid ? Prove that the pressure at a point at a depth h cm in a liquid of density d gm/c c is hdg dynes per sq cm

   তরল পদার্থের মধ্যস্থিত 'কোনও বিন্দুতে চাপ' বলিতে কি বুঝায়? প্রমাণ কর যে, কোনও তরলের ঘনত্ব যদি d gm/cm^3 হয় তাহা হইলে, তাহার h cm গভীরতায় কোনও বিন্দুতে চাপের পরিমাণ hdg ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

2 The thrust exerted by a liquid on the bottom of a vessel does not depend on the shape of the vessel or the quantity of the liquid. Describe an experiment to justify this statement

   কোনও পাত্রের তলদেশে তরলের সম্পূর্ণ চাপ পাত্রের আকার কিম্বা তরলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। এই উক্তির যাথার্থ্য একটি পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর।

3. State Pascal's Law. Describe a practical application of it,
প্যাস্কাল সূত্র কি? ইহার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ বর্ণনা কর।

4. Describe, with a neat diagram, the action of a hydraulic press.
হাইড্রলিক প্রেসের একটি চিত্র আঁকিয়া কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।

5. Describe an experiment to show that the pressure at a point in a liquid is same in all directions,
কোনও তরলের মধ্যস্থিত কোনও বিন্দুতে উর্ধ্ব, নিম্ন ও পার্শ্বচাপের সমতা প্রমাণ করিবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

6. Demonstrate experimentally the existence of lateral pressure and increase of it with depth in a liquid.
তরলের অভ্যন্তরে পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব এবং গভীরতার সহিত পার্শ্বচাপের বৃদ্ধি একটি পরীক্ষার সাহায্যে সপ্রমাণ কর।

7. Densities and heights of two liquids in equilibrium in a U-tube are inversely proportional. Prove this.
একটি U-আকৃতি নলে দুইটি তরল পদার্থের মধ্যে সাম্য অবস্থায় তরল পদার্থদ্বয়ের উচ্চতা ও ঘনত্ব ব্যস্তানুপাতিক হয়—প্রমাণ কর।

8. State Archimedes' principle. How will you verify it in the laboratory?
আর্কিমিডিসের সূত্রটি লিখ। ইহা ল্যাবরেটরীতে কিভাবে প্রতিপন্ন করিবে?

9. Explain the factors which determine whether a body will float or sink in a given liquid. Desbribe a Cartesian diver.
কোনও পদার্থের ভাসন বা নিমজ্জন কিসের উপর নির্ভর করে—তাহা বুঝাইয়া দাও। একটি কার্টেজীয় ডুবুরী বর্ণনা কর।

10. A lump of iron sinks in water but a ship made of iron floats in it—explain. Explain the action of a submarine.
একখণ্ড লৌহ জলে ডুবিয়া যায় কিন্তু লৌহনির্মিত জাহাজ জলে ভাসে কেন? ডুবোজাহাজের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।

11. Explain the difference between specific gravity and density.
ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মধ্যে তুলনা কর।

12. How will you determine the specific gravities of the following substances?—
(a) Alum, (b) blue-vitriol, (c) kerosene.
নিম্নলিখিত বস্তুগুলির আপেক্ষিক গুরুত্ব কি করিয়া বাহির করিবে? —
(ক) ফটকিরি, (খ) তুঁতে, (গ) কেরোসিন।

13. Describe a Nicholson hydrometer. How will you determine the specific gravity of (i) a piece of glass, (ii) copper sulphate with its help ?
একটি নিকলসন হাইড্রোমিটার বর্ণনা কর। ইহা দ্বারা কি করিয়া কাচখণ্ড এবং তুঁতের দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবে ?

14. Describe how you will determine the specific gravity of (i) sand, (ii) copper sulphate solution with the help of a specific gravity bottle. Why is there a bore in the stopper of such a bottle ?
একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কি করিয়া বালি এবং তুঁতের দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবে ? এই বোতলের ছিপিতে ছিদ্র থাকে কেন ?

15. Hero's crown weighed 20 lbs in air and 1·25 lbs less in water. It was made of gold and silver only. Find the amount of each. (sp. gr. of gold = 19·3 ; sp. gr. of silver = 10·5).
[Ans. gold 15·08 lb, silver 4·92 lb]
হিরোর মুকুটের ওজন ছিল 20 পাউণ্ড। জলে ডুবাইয়া ওজন করিয়া দেখা গিয়াছিল ইহার ওজন 1·25 পাউণ্ড কম। মুকুট স্বর্ণ এবং রৌপ্যদ্বারা নির্মিত হইয়াছিল। মুকুটের মধ্যে স্বর্ণ এবং রৌপ্যের ওজন নির্ণয় কর। (স্বর্ণের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 19·3; রৌপ্যের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 10 5)

16. A piece of metal weighs 100 gm in air and 88 gms in water. Find its specific gravity. How much will it weigh in a liquid of sp. gr. 1·5 ? [Ans. 8·33, 82 gm]
একটি ধাতুখণ্ডের বায়ুতে ওজন 100 গ্রাম এবং জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 88 গ্রাম। ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। 1 5 আপেক্ষিক গুরুত্ব বিশিষ্ট তরলে এই ধাতুখণ্ডের ওজন কত হইবে ?

17. A piece of glass weighs 4·5 gm in air, 2·5 gm in water, and 2·9 gm in alcohol. Find the sp. gr. of alcohol. [Ans. 0·8]
একটি কাচের টুকরার ওজন বায়ুতে 4 5 গ্রাম, জলে 2 5 গ্রাম এবং অ্যালকোহলে 2·9 গ্রাম। অ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

18. The volume of a piece of wax is 22 c.c. It floats in water with its 20 c.c. under water. Find its specific gravity. [Ans. 0·91]
একটি মোমের টুকরার আয়তন 22 ঘন সে. মি। ইহা যখন জলে ভাসে তখন 20 ঘন সে. মি. জলের ভিতরে থাকে। ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

19. A Nicholson hydrometer sinks in water up to the index mark when 60·3 gm. is put on the upper pan, and in alcohol when 6·8 gm. is put on the upper pan. Find the sp. gr of alcohol if the weight of the hydrometer is 200 gm. [Ans. 0·79]

একটি নিকলসন হাইড্রোমিটারের উপরে 60·3 গ্রাম ভার বসাইলে ইহা জলে সূচক চিহ্ন অবধি ডোবে এবং 6·8 গ্রাম বসাইলে অ্যালকোহলে ঐ চিহ্ন অবধি ডোবে। হাইড্রোমিটারটির ওজন যদি 200 গ্রাম হয়, তবে অ্যালকোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির কর।

20. Weight of a 16 gm. sinker in water is 10 gm. and in another liquid 8 gm. Find the specific gravity of the sinker and of the liquid. [Ans, 2·67, 1·33]

একটি 16 গ্রাম ভারের নিমজ্জক জলে ডুবাইয়া ওজন করিলে 10 গ্রাম হয়। ইহা অন্য তরলে ডুবাইয়া ওজন করিলে 8 গ্রাম হয়। নিমজ্জক এবং অন্য তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ?

21. A chunk of ice floats with $\frac{1}{11}$ of its volume above water. What is the specific gravity of ice ? Will the level of water rise in the vessel on the melting of the ice ? [Ans. 0·91]

একটি বরফখণ্ড জলে ভাসিবার সময় উহার $\frac{1}{11}$ অংশ জলের উপরে থাকে। বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত ? বরফ গলিলে পাত্রের মধ্যে জলের তল কি উঁচু উঠিবে ?

একাদশ অধ্যায়

বায়ুমণ্ডল ও গ্যাসীয় পদার্থের কথা

1. পৃথিবীকে ঘিরিয়া রহিয়াছে কয়েক শত মাইল পুরু এক স্বচ্ছ গ্যাসীয় আচ্ছাদন। এই গ্যাসীয় আচ্ছাদনের নাম বায়ুমণ্ডল। মাছ এবং অন্যান্য জলচর প্রাণী যেমন জলে স্বচ্ছন্দে বিচরণ করে, আমরা তেমনি এই বায়ুসমুদ্রে স্বচ্ছন্দে বিচরণ করি। আমরা বাস করি বায়ুসমুদ্রের তলদেশে। ইহার গভীরতা কত তাহা সঠিক বলা যায় না। ভূপৃষ্ঠ হইতে যতদূরে যাওয়া যায়, বায়ু তত হালকা হইতে থাকে এবং অবশেষে শূন্যে মিলাইয়া যায়। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে, ভূপৃষ্ঠ হইতে মাত্র সাড়ে তিন মাইলের মধ্যে সমগ্র বায়ুমণ্ডলের অর্ধেক বায়ু অবস্থিত রহিয়াছে। আমরা বায়ুমণ্ডলের ঘনতম অংশে বাস করি।

2. বায়ুর ওজন: অন্যান্য পদার্থের মত বায়ুর ওজন বা ভার আছে। একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়।

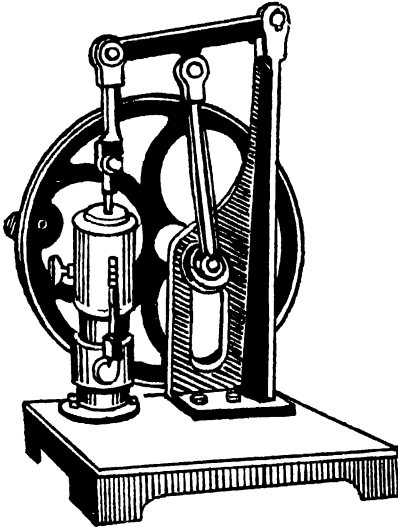



Fig 73—বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্র

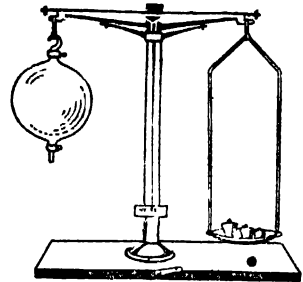



Fig 74 বায়ুর ওজন পরীক্ষা

পরীক্ষা: এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজন হয় একটি সূক্ষ্ম তুলা, একটি স্টপকক-যুক্ত কাচের গোলক ও একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প।

প্রথমতঃ পাম্পের সাহায্যে গোলকটি হইতে বাতাস বাহির করিয়া লইয়া তুলার একদিকে বসাও। তারপর অপরদিকে উপযুক্ত ওজন বসাইয়া তুলার দুইদিক সমভারযুক্ত কর। এইবার স্টপককটি খুলিয়া দিলে গোলকটির মধ্যে বায়ু প্রবেশ করিবে এবং তুলার ঐ দিকটি হেলিয়া পড়িবে। গোলকটির মধ্যে যে বায়ু প্রবেশ করে তাহার ভারের জন্যই এইরূপ হয়। সুতরাং এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুর ভার বা ওজনের অস্তিত্ব প্রমাণিত হইল। সাবধানে অপরদিকে আরও ওজন চাপাইয়া পুনরায় তুলার দুইদিক সমভাবযুক্ত কর। এই অতিরিক্ত ওজনই কাচের গোলকের মধ্যস্থ বায়ুর ওজন। কাচের গোলকটি খালি এবং পরে জলপূর্ণ করিয়া ওজন লইয়া ইহার আয়তন নির্ণয় কর। ঐ অতিরিক্ত ওজনকে আয়তন দ্বারা ভাগ করিয়া বায়ুর ঘনত্ব নির্ণয় কর। কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুর ওজন অর্থাৎ বায়ুর ঘনত্ব তাহার চাপ ও উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। পরীক্ষার ফলে জানা গিয়াছে যে, সাধারণ অবস্থায় প্রতি ঘন ফুট শুষ্ক বায়ুর ওজন 0·08 পাউণ্ড। এই ওজন কিন্তু নেহাৎ কম নয়। এই হিসাবে তোমাদের ক্লাস ঘরে যে বায়ু আছে তাহার ওজন কয়েক মণ হইবে।

3. বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure)

আমরা প্রত্যেকে মাথার উপর কয়েক শত মাইল উঁচু বায়ুর স্তম্ভ বহন করিয়া বেড়াইতেছি। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, ভূপৃষ্ঠের প্রতি বর্গ ইঞ্চি স্থানের উপর দণ্ডায়মান বায়ুস্তম্ভের ওজন প্রায় 15 পাউণ্ড। অর্থাৎ ভূপৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 15 পাউণ্ড। এখন হিসাব করিয়া দেখ, মাথার উপর কত ওজনের চাপ পড়িতেছে। বায়ু শুধু নাচের দিকে চাপ দেয় না—তরল পদার্থের মত উপরে, নীচে, পাশে, সবদিকে সমানভাবে চাপ দেয়। কাজেই শুধু মাথার উপরে নয়, আমাদের সারা শরীরের উপরই বায়ুর প্রচণ্ড চাপ পড়িতেছে। এই চাপ আমরা অনুভব করি না, কারণ এই চাপ শরীরের ভিতরে এবং বাহিরে সমানভাবে পড়ে আর আমরা জন্মাবধি এই চাপে অভ্যস্ত।

4. বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার জন্য কয়েকটি পরীক্ষা

(1) **কাচের গ্লাস লইয়া পরীক্ষা ঃ** একটি গ্লাস সম্পূর্ণ জলপূর্ণ কর। একটি পোস্টকার্ড বা ঐরকমের একটি পাতলা কার্ড পাশ হইতে ঠেলিয়া গ্লাসের

মুখটি বন্ধ করিয়া দাও। তারপর হাত দিয়া কার্ডটি চাপিয়া গ্লাসটি উন্টাইয়া দাও এবং হাত সরাইয়া লও। কার্ডটি পড়িবে না, কারণ বায়ুমণ্ডলের চাপ কার্ডটিকে উপর দিকে ঠেলিতেছে এবং কার্ডটির উপর এই চাপের মোট পরিমাণ গ্লাসের মধ্যস্থ জল ও কার্ডের মিলিত ওজন অপেক্ষা বেশী। গ্লাসটি কাত বা এদিক ওদিক করিলেও পড়িবে না, কারণ বায়ুমণ্ডলের চাপ সর্বদিকে প্রযুক্ত হয়।

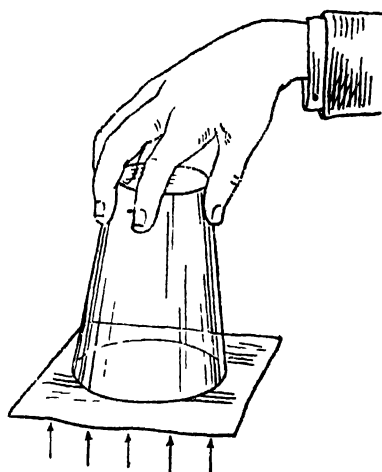



Fig 75—বায়ুর উর্ধ্বচাপ

(2) **টিনের কৌটা লইয়া পরীক্ষা:** ছোট মুখওয়ালা একটি মাঝারি আয়তনের পাতলা টিনের কৌটা সংগ্রহ কর। মুখটি ছিপি দিয়া যেন বন্ধ করা যায়। টিনের মধ্যে অল্পপরিমাণে জল লইয়া স্টোভের বা বার্ণারের উপরে ফুটাইতে থাক। খোলা মুখ দিয়া কিছুক্ষণ স্টীম বাহির হইবার পর তাড়াতাড়ি ছিপি দিয়া মুখটি বন্ধ করিয়া দাও এবং কৌটাটি সরাইয়া আনিয়া ঠাণ্ডা জলের নীচে রাখ। দেখিবে বায়ুমণ্ডলের চাপে কৌটাটি তুমড়াইয়া যাইবে। জল ফুটাইবার ফলে স্টীমের সঙ্গে সঙ্গে কৌটার মধ্যস্থ বায়ু বাহির হইয়া যায়। ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে স্টীম ঘনীভূত হইয়া জলে পরিণত হইলে ভিতরে শূন্যস্থানের (vacuum) সৃষ্টি হয় এবং বাহিরের চাপে কৌটা তুমড়াইয়া যায়।

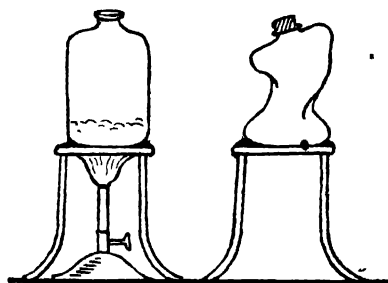



Fig 76
টিনের কৌটা—স্বাভাবিক, তুমড়ান

(3) রবারের চাদর ফাটিয়া যাওয়া

পরীক্ষা ঃ একটি দুইমুখ-খোলা মোটা কাচের চোঙ সংগ্রহ কর। একমুখ একটি পাতলা রবারের চাদর দিয়া শক্ত করিয়া বাঁধ। তারপর খোলামুখটি একটি বাত-পাম্পের রেকাবির উপর বসাইয়া ইহার চারিদিকে ভেসিলিন লাগাইয়া দাও যেন মুখটি সম্পূর্ণ বায়ুনিরুদ্ধ (air-tight) হয়। পাম্প চালাইয়া ক্রমশঃ ভিতর হইতে বায়ু নিষ্কাশিত করিতে থাক। দেখিবে, রবারের চাদরটি বাহিরের চাপে ক্রমশঃ ভিতর দিকে ঢুকিয়া যাইবে এবং শেষ পর্যন্ত ফাটিয়া যাইবে।

(4) ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলকের পরীক্ষা (Magdeburg hemispheres)

পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজন দুইটি ধাতুনির্মিত সমান মাপের ফাঁপা অর্ধগোলক। অর্ধগোলক দুইটিকে ঠিক মুখে মুখে জোড়া লাগান যায়। দুইটি অর্ধগোলকের সঙ্গেই একটি করিয়া আংটা লাগান থাকে এবং একটির মধ্যে প্যাঁচকল সহ একটি নল আছে। অর্ধগোলক দুইটি মুখে মুখে জোড়া লাগাইয়া উহাদের মুখের চারিদিকে ভেসিলিন লাগাইয়া দাও। তারপর প্যাঁচকলযুক্ত নলটি একটি বাত-পাম্পের সহিত জুড়িয়া ভিতর হইতে বাতাস বাহির করিয়া প্যাঁচকলটি আঁটিয়া দাও। এখন দুই জনে দুইটি আংটা ধরিয়া টানিয়া দেখ অর্ধগোলক দুইটি সহজে পৃথক করা যায় না। কিন্তু প্যাঁচকলটি খুলিয়া দিলে যেমনি ভিতরে বাতাস ঢোকে, অমনি অর্ধগোলক দুইটি পৃথক হইয়া যায়। বায়ুমণ্ডল যে চতুর্দিকে চাপ দিতেছে এই পরীক্ষাদ্বারা তাহা সুন্দর ভাবে প্রতিপন্ন হয়।

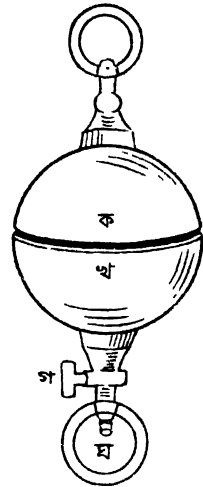



Fig 77
ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক

অটো ফন গেরিক (Otto von Guericke) 22 ইঞ্চি ব্যাস বিশিষ্ট দুইটি তামার অর্ধগোলক ব্যবহার করিয়া জার্মানীর ম্যাগডেবার্গ শহরে ১৬৫৪ খ্রীষ্টাব্দে সর্বপ্রথম এই পরীক্ষা করেন। তজ্জন্য এই ধরনের অর্ধগোলকের নাম দেওয়া হইয়াছে

ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক। উল্লিখিত পরীক্ষায় এক একদিকে ছয়টি ঘোড়া দিয়া টানাইয়াও অর্ধগোলকদ্বয়কে পৃথক করা যায় নাই।

(5) বিউরেট (burette) লইয়া পরীক্ষা

পরীক্ষা ঃ একমিটার লম্বা এবং প্যাঁচকল (stop cock)-যুক্ত একটি বিউরেট জলপূর্ণ কর। খোলামুখ আঙ্গুল দিয়া চাপিয়া ধরিয়া বিউরেটটিকে একটি জলপূর্ণ বীকারে উপুড় করিয়া ধর এবং স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে খাড়া করিয়া রাখ। দেখিবে, বিউরেটের জল পড়িতেছে না। কারণ, বায়ুমণ্ডলের চাপ বীকারের জলের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হইয়া বিউরেটের খোলামুখের উপর জলস্তম্ভের নিম্নদেশে ঊর্ধ্বদিকে প্রযুক্ত হইতেছে। এই ঊর্ধ্বচাপ বিউরেটের মধ্যস্থিত জলস্তম্ভের নিম্নচাপ হইতে বেশী বলিয়া জলস্তম্ভ পড়িতেছে না।

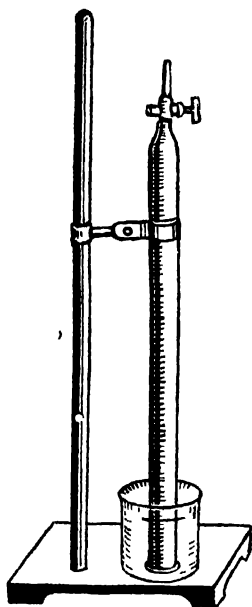



Fig 78
বিউরেট দ্বারা বায়ুচাপের পরীক্ষা

প্যাঁচকলটি খুলিয়া দেওয়া মাত্র বায়ুমণ্ডলের চাপ জলস্তম্ভের উপরেও পড়ে এবং নিজ ওজনের জন্য জলস্তম্ভটি পড়িয়া যায়।

5. টরিসেলির পরীক্ষা—সরল ব্যারোমিটার (Simple barometer)

ইটালীয় বিজ্ঞানী টরিসেলি (Torricelli) বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপিবার জন্য প্রথম এই পরীক্ষা করেন।

পরীক্ষা ঃ একমুখ-খোলা একমিটার লম্বা একটি কাচনল ও কিছু পারদ সংগ্রহ কর। নলটি পরিষ্কার এবং শুষ্ক করিয়া একটি ফানেলের সাহায্যে সাবধানে পারদ ঢালিয়া পূর্ণ কর। নলের মধ্যে যেন একটুও বায়ু না থাকে। তারপর একটি আঙ্গুল দিয়া খোলামুখটিকে বন্ধ করিয়া নলটিকে একটি পারদের বাটির

(basin) মধ্যে উপুড় করিয়া দাঁড় করাও এবং আঙ্গুলটি সরাইয়া লও। দেখিবে, বাটির মধ্যে খানিকটা পারদ নামিয়া গিয়াছে এবং নলের উপর দিকে খানিকটা জায়গা খালি হইয়া গিয়াছে। এই স্থানটি বায়ুশূন্য। টরিসেলির নাম অনুসারে এই বায়ুশূন্য স্থানটির নাম দেওয়া হইয়াছে **টরিসেলীয় ভ্যাকুয়াম** (Torricellian vacuum)। একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে নলটি ঠিক খাড়া ভাবে দাঁড় করাইয়া স্কেলের সাহায্যে বাটির পারদের উপরিতল হইতে নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপ। এই উচ্চতা প্রায় 30" বা 76 সেন্টি-মিটার হইবে।

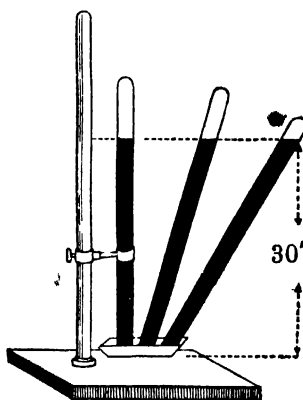
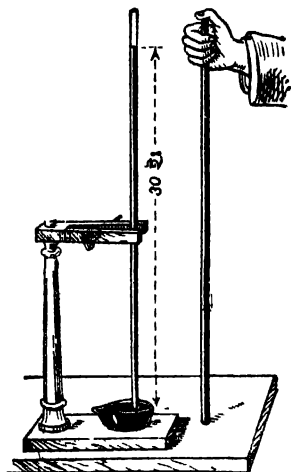



Fig 79—টরিসেলীয় পরীক্ষা

নলটি নানাভাবে কাত কর এবং প্রতিবারই বাটির পারদের উপরিতল হইতে নলের মধ্যস্থ পারদের তল অবধি খাড়া উচ্চতা (vertical height) মাপ। কাত করিলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়ে কিন্তু খাড়া উচ্চতা একই থাকে।

F. 80—পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা সমান

এই খাড়া উচ্চতা বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাপক। এই জন্য টরিসেলির পরীক্ষার এই ব্যবস্থাকে সরল ব্যারোমিটার (Simple barometer) বলে। বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপিবার যন্ত্রের নাম **ব্যারোমিটার**।

6. বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ

টরিসেলির পরীক্ষার সঙ্গে বিউরেটের পরীক্ষার তুলনা কর। বিউরেটের মধ্যে জলস্তম্ভ নামিয়া আসে নাই, কারণ একমিটার উচ্চ জলস্তম্ভের চাপ অপেক্ষা বায়ুমণ্ডলের চাপ বেশী। পারদের ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা অনেক বেশী

(13·6 গুণ) বলিয়া একমিটার পারদস্তম্ভের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে বেশী। এজন্য বায়ুমণ্ডলের চাপ নলের মধ্যে একমিটার উচ্চ পারদস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারে না। এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় বায়ুমণ্ডলের চাপ সরল ব্যারোমিটারের নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের চাপের সমান। যেহেতু পারদস্তম্ভের চাপ তাহার উচ্চতার উপর নির্ভর করে (চাপ $= hdg$), সুতরাং আমরা বলিতে পারি টরিসেলির পরীক্ষায় পারদস্তম্ভের উচ্চতাই বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাপক। এজন্য বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদস্তম্ভের উচ্চতাদ্বারা নির্দেশ করিবার রীতি আছে। কোনও কারণে বায়ুমণ্ডলের চাপ বাড়িলে বা কমিলে সরল ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতাও বাড়ে বা কমে। বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 সেণ্টিমিটার বলিলে বুঝিতে হইবে 76 সেণ্টিমিটার উচ্চ পারদস্তম্ভের যে চাপ, বায়ুমণ্ডলের চাপ তাহার সমান। এই চাপের পরিমাণ আমরা হিসাব করিয়া বাহির করিতে পারি।

বায়ুমণ্ডলের চাপ (প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে)

= 76 সেণ্টিমিটার উচ্চ পারদস্তম্ভের চাপ

= পারদস্তম্ভের উচ্চতা × পারদের ঘনত্ব

= 76 সে. মি. × 13·6 গ্রাম/ঘন সে. মি.

= 76 × 13·6 গ্রাম প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে

= 1033·6 গ্রাম প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে।

জল দিয়াও সরল ব্যারোমিটার তৈয়ারি করা যায় ! কিন্তু জলের ঘনত্ব পারদের ঘনত্বের $\frac{1}{13·6}$ বলিয়া জলস্তম্ভের উচ্চতা হইবে 76 × 13·6 সেণ্টিমিটার বা 1033·6 সেণ্টিমিটার। সুতরাং ইহার চেয়েও দীর্ঘ নল লইতে হইবে। কিন্তু ইহা কোনক্রমেই সুবিধাজনক নহে।

7. পারদস্তম্ভের উচ্চতা নলের দৈর্ঘ্য অথবা ব্যাসের উপর নির্ভর করে না

আমরা দেখিয়াছি তরল পদার্থের চাপ = উচ্চতা × ঘনত্ব। সুতরাং স্পষ্টই বুঝা যায় সকল ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কেবলমাত্র বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে, নলের দৈর্ঘ্য অথবা ব্যাসের উপর নির্ভর করে না। অবশ্য নলের দৈর্ঘ্য অন্তত এমন হওয়া চাই যাহাতে পারদস্তম্ভের উপরে খানিকটা টরিসেলীয় ভ্যাকুয়াম থাকে।

পরীক্ষা: বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের (যেমন 80 সে.মি., 85 সে.মি., 90 সে.মি.) ও বিভিন্ন ব্যাস বিশিষ্ট তিনটি নল লও। তিনটি নলই পারদপূর্ণ করিয়া একটি পারদের বাটির মধ্যে উপুড় করিয়া খাড়াভাবে দাঁড় করাইয়া রাখ। লক্ষ্য কর এবং মাপিয়া দেখ তিনটি নলেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান।

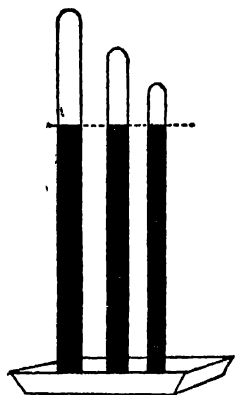



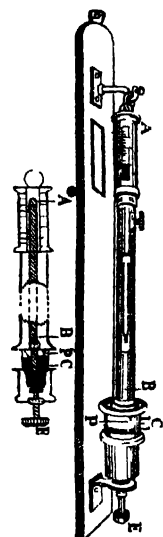
Fig. 81
পারদস্তম্ভের উচ্চতা নলের দৈর্ঘ্য অথবা ব্যাসের উপর নির্ভর করে না।

এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে সরল ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা নলের ব্যাস ও দৈর্ঘ্য নিরপেক্ষ।

8. ফোর্টিন ব্যারোমিটার (Fortin's barometer)

সরল ব্যারোমিটার দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপ ও ইহার হ্রাসবৃদ্ধি মাপা নানা কারণে অসুবিধাজনক। ইহার প্রধান অসুবিধা হইল যে, পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপিবার জন্য কোনও স্থির স্কেল ব্যবহার করা যায় না। কারণ পারদস্তম্ভের হ্রাসবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পারদের বাটিতে (cistern) পারদতলের উন্নতি-অবনতি ঘটে। এজন্য পরীক্ষাগারে এবং আবহাওয়া অফিসসমূহে অন্য রকমের ব্যারোমিটার ব্যবহার করা হয়। ইহাদের মধ্যে ফোর্টিন ব্যারোমিটার অন্যতম।

Fig. 82
ফোর্টিন ব্যারোমিটার

ফোর্টিন ব্যারোমিটার সরল ব্যারোমিটারের নিয়মেই তৈয়ারী এবং ইহাও একপ্রকার আধার (cistern) ব্যারোমিটার। AB একমুখ-খোলা একমিটার দীর্ঘ একটি কাচের নল। ইহা পারদপূর্ণ করিয়া টরিসেলির পরীক্ষার ন্যায় একটি পারদপাত্রে (C) উপুড় করিয়া দাঁড় করান আছে। কাচনলটি একটি পিতলের নলের ভিতর সুরক্ষিত অবস্থায় আছে। ঐ নলের উপরের অংশে, সম্মুখে ও পশ্চাতে দুইটি আয়তাকার খাঁজ কাটা থাকে। সম্মুখ

খাঁজের ভিতর দিয়া কাচনলের মধ্যে পারদতল দেখা যায় এবং ইহার দুই লম্বালম্বি ধারে যথাক্রমে ইঞ্চি এবং সেণ্টিমিটার স্কেল অঙ্কিত থাকে। এই দুই প্রধান স্কেলেরই শূন্য দাগ নীচের পারদপাত্রের ঢাকনা-সংলগ্ন একটি হস্তিদন্ত-পিনের (P) সূক্ষ্মাগ্রে অবস্থিত। নীচের পারদপাত্রের পারদতল হস্তিদন্ত-পিনের সূক্ষ্মাগ্র স্পর্শ করিয়া থাকে। পারদপাত্রের নীচের অংশ চামড়ার তৈয়ারী এবং পাত্রের গায়ে সূক্ষ্ম ছিদ্রদ্বারা ইহা বাহিরের বায়ুর সঙ্গে সংযুক্ত। পাত্রের তলার চামড়ার নীচে একটি স্ক্রু (E) আছে। যদি পারদতল কখনও ওঠে বা নামে তাহা হইলে E স্ক্রু প্রয়োজনমত ঘুরাইয়া পারদতলকে ঠিক হস্তিদন্ত-পিনের সূক্ষ্মাগ্রে ঠেকান যায়।

দুইটি প্রধান স্কেলের মধ্যবর্তী খাঁজে একটি ছোট ভার্নিয়ার স্কেল আছে। খাঁজের একটু নীচে নলের গায়ে অবস্থিত একটি স্ক্রু ঘুরাইয়া ভার্নিয়ার স্কেলটি খাঁজের মধ্যে উঠান-নামান যায়। ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা সঠিকভাবে (সাধারণতঃ ·005 cm. ও ·002 inch অবধি) জানা যায়।

পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য উষ্ণতার উপরেও নির্ভর করে। এজন্য প্রত্যেক ব্যারোমিটারের সঙ্গে একটি করিয়া থার্মমিটার লাগান থাকে।

9. ব্যারোমিটার পঠন (Reading of a barometer)

ব্যারোমিটার পঠন বলিতে—ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় বুঝায়।

সর্বপ্রথম ব্যারোমিটার যন্ত্রটি উল্লম্ব (vertical) ভাবে আছে কিনা পরীক্ষা কর এবং না থাকিলে ঐভাবে রাখ। ইঞ্চি ও সেণ্টিমিটার স্কেলে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় কর। তারপর E স্ক্রুটি প্রয়োজনমত ঘুরাইয়া পারদপাত্রের পারদতলকে হস্তিদন্ত-পিন Pএর সূক্ষ্মাগ্র স্পর্শ করাও। তারপর ভার্নিয়ারটি উঠাইয়া বা নামাইয়া এমন স্থানে স্থাপন কর যাহাতে ইহার নিম্নধার (lower edge) কাচনলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের উত্তল তলকে স্পর্শ করে বলিয়া মনে হয়। ইহা ঠিকভাবে করিবার নিমিত্ত পিতলের নলের পশ্চাদ্দিকের খাঁজের পশ্চাতে একটি সাদা প্লেট থাকে। ভার্নিয়ারের নিম্নধার ও পারদস্তম্ভের তলের ফাঁকের ভিতর দিয়া এই প্লেটটি দেখা যায়। যতক্ষণ পর্যন্ত প্লেটটি দেখা যাইবে ততক্ষণ পর্যন্ত ভার্নিয়ারটি নামাইতে হইবে। যেইমাত্র আর দেখা যাইবে না অমনি থামিতে হইবে।

এখন প্রধান স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ লও এবং তাহা হইতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় কর। ইহাই তখনকার বায়ুচাপ নির্দেশ করে। নিম্নে একটি দৃষ্টান্ত দ্বারা পঠন লইবার পদ্ধতি বুঝান হইল।

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয়—

(1) সেন্টিমিটার স্কেলে

ভার্নিয়ারের 20 অংশাঙ্ক = প্রধান স্কেলের 19 অংশাঙ্ক = 19 মি. মি.

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = $(1-\frac{19}{20})$ মি. মি. = $\frac{1}{20}$ মি মি. = 05 মি. মি
= ·005 সে মি.

(2) ইঞ্চি স্কেলে

ভার্নিয়ারের 25 অংশাঙ্ক = প্রধান স্কেলের 24 অংশাঙ্ক

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = $(1-\frac{24}{25})$ প্রধান স্কেলের অংশাঙ্ক
= $\frac{1}{25}\times\frac{1}{20}$ ইঞ্চি
= $\frac{1}{500}$ ইঞ্চি = 002 ইঞ্চি

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	সেন্টিমিটারে পাঠ				ইঞ্চিতে পাঠ			
	প্রধান স্কেল	ভার্নিয়ার স্কেল	দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য	প্রধান স্কেল	ভার্নিয়ার স্কেল	দৈর্ঘ্য	গড় দৈর্ঘ্য
1	75·8	13	75·8 + ·005 × 13 = 75·865 সে মি.		29·85	9	29·85 + 002 × 9 = 29·868 ইঞ্চি	
2								
3								

10. অ্যানেরয়েড (Aneroid) ব্যারোমিটার—পারদ ব্যারোমিটারের প্রধান অসুবিধা এই যে ইহাকে সহজে স্থানান্তরে লইয়া যাওয়া যায় না এবং ইহা আকারে অত্যন্ত বড়। অ্যানেরয়েড ব্যারোমিটার নামে আর এক রকমের ব্যারোমিটার আছে। ইহার মধ্যে পারদ বা অন্য কোনও তরল পদার্থ থাকে না। এই

ব্যারোমিটার আকারে অনেক ছোট এবং এক জায়গা হইতে অন্য জায়গায় সহজেই বহন করা যায়। ইহা দেখিতে গোলাকার বাক্সের মত— টাইমপিস ঘড়ি যেমন হয়। ইহার প্রধান অংশ হইল একটি বায়ুশূন্য প্রকোষ্ঠ (vacuum chamber)। এই গোলাকার প্রকোষ্ঠ বা বাক্সের ভিতরটা সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য এবং ইহার চেপ্টা দুই দিকের এক দিকটা (উপরের দিক) খুব পাতলা ঢেউখেলান ধাতুর পাত দিয়া আটকান। এই পাতটির উপরে ঘড়ির কাঁটার মত একটি কাঁটা লাগান থাকে ও

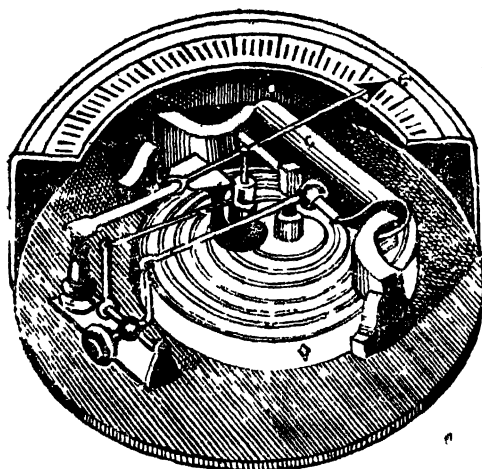



Fig 83—অ্যানেরয়েড ব্যারোমিটার

নীচে বাক্সের মধ্যে সামান্য কিছু কলকব্জা (লিভার) থাকে। বায়ুর চাপ কমবেশী হইবার সঙ্গে সঙ্গে পাতটি ওঠে-নামে এবং নীচের কলের সাহায্যে কাঁটাটিও এদিক ওদিক নড়িতে থাকে। ডায়ালের উপরে একটি স্কেল অঙ্কিত থাকে। এই স্কেলের উপর কাঁটার অবস্থান দেখিয়া বায়ুর চাপ কত ইঞ্চি বা কত সেন্টিমিটার তাহা জানা যায়।

11. বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত উচ্চতার সম্পর্ক

সমুদ্র-সমতলে বায়ুচাপ সর্বাপেক্ষা বেশী। ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে উঠা যায়, ততই বায়ু হাল্কা হইতে থাকে এবং বায়ুচাপ কমিতে থাকে। ভূপৃষ্ঠে আমরা যে বায়ুচাপে অভ্যস্ত, ঊর্ধ্বাকাশে বায়ুচাপ তাহা অপেক্ষা কম। এরোপ্লেনে অনেক উপরে উঠিলে এজন্য অস্বস্তি বোধ হয়—শ্বাস লইতে কষ্ট হয়। এরোপ্লেনের পাইলটদের অনেক উঁচুতে উঠিবার পূর্বে বিশেষ সাবধানতার ব্যবস্থা করিতে হয়, নতুবা তাহাদের নাক-কান দিয়া রক্ত বাহির হইতে পারে।

দেখা গিয়াছে যে, অন্ততঃ প্রথম কয়েক হাজার ফুট অবধি প্রায় প্রতি 900 ফুট উচ্চতার জন্য বারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা এক ইঞ্চি করিয়া কমে। সুতরাং পর্বতের উপরে বায়ুচাপ মাপিয়া পর্বতের উচ্চতা নির্ণয় করা যাইতে পারে।

12. অল্‌টিমিটার (Altimeter) বা উচ্চতামাপক যন্ত্র

এরোপ্লেনের উচ্চতা মাপিবার জন্য এক ধরণের অ্যানেরয়েড ব্যারোমিটার ব্যবহৃত হয়। ইহার নাম অল্‌টিমিটার। ইহার ডায়ালে যে স্কেল থাকে সেই স্কেল হইতে সরাসরি উচ্চতা জানা যায়।

13. বায়ুর চাপের সহিত আবহাওয়ার সম্পর্ক ; জলীয় বাষ্পের প্রভাব (Weather and atmospheric pressure ; effect of moisture)

শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব কম। এজন্য বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইলে বায়ু অপেক্ষাকৃত হাল্কা হয় এবং ফলে বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। বায়ুর চাপের উপর আবহাওয়ার অবস্থা অনেকখানি নির্ভর করে এবং বায়ুর চাপ জানিয়া আবহাওয়ার অবস্থা সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যায়। বায়ুর চাপ কমিলে সাধারণতঃ মনে করা হয়, বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িয়াছে, সুতরাং বৃষ্টি হইতে পারে। ব্যারোমিটারের পারদ দ্রুত নামিতে থাকিলে বুঝিতে হইবে যে ঝড় আসন্ন। কারণ স্থানীয় বায়ুচাপ হঠাৎ কমিবার ফলে নিকটস্থ উচ্চচাপের স্থানসমূহ হইতে বায়ু ঐদিকে বেগে অগ্রসর হইবে। বায়ুর চাপ বাড়তির দিকে থাকিলে বুঝা যায় আবহাওয়া ভাল এবং শুষ্ক।

14. আবহাওয়া মানচিত্র (Weather map)

দেশের বিভিন্ন স্থানে আবহাওয়া অফিস আছে। সেখানে প্রতিদিন নির্দিষ্ট সময়ে বায়ুর চাপ, উষ্ণতা, গতি প্রভৃতি মাপা হয় এবং সেই সমস্ত তথ্যের সাহায্যে নানারকমের আবহাওয়ার মানচিত্র তৈয়ারি করা হয়। আবহাওয়া মানচিত্র বিশ্লেষণ করিয়া আবহাওয়ার পূর্বাভাস তৈয়ারি করা হয় এবং রেডিও ও খবরের কাগজ মারফত প্রচার করা হয়। এইরূপ সংবাদ জাহাজ, এরোপ্লেন প্রভৃতির পক্ষে অতি প্রয়োজনীয়। এই সংবাদ চাষীদের পক্ষেও প্রয়োজনীয়।

15. গ্যাসের চাপ (Pressure in gases)

বায়ুর চাপের অস্তিত্বের নানারকম প্রমাণ আমরা পাইয়াছি এবং বায়ুর চাপ কি উপায়ে মাপা যায় তাহাও জানিয়াছি। বায়ুর মত অন্যান্য গ্যাসেরও চাপ আছে। কঠিন ও তরল পদার্থের সহিত গ্যাসীয় পদার্থের প্রধান পার্থক্য দুইটি—(১) নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস রাখিতে আবদ্ধ পাত্রের প্রয়োজন হয় এবং (২) গ্যাস সংনমনীয় অর্থাৎ বহিশ্চাপের অল্প হ্রাসবৃদ্ধিতেই নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পায় বা সঙ্কুচিত হয়।

গ্যাস যে পাত্রে আবদ্ধ থাকে তাহার গাত্রের সর্বত্র সমান চাপ দেয়। পাত্রের যে-কোনও স্থানে ফুটা করিলে সেখান দিয়া গ্যাস নির্গত হয় (অবশ্য যদি পাত্রের অভ্যন্তরে গ্যাসের চাপ পাত্রের বহিঃস্থ বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে বেশী হয়)। আবদ্ধ পাত্রের আয়তন যদি সঙ্কুচিত করা যায় তবে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায় এবং যদি আয়তন বৃদ্ধি করা যায় তবে গ্যাসের চাপ কমে।

পরীক্ষা: (1) একটি বাইসিকেলের পাম্পের মুখ আঙ্গুল দিয়া আটকাইয়া পাম্পের পিস্টনটি ভিতর দিকে ঠেলিয়া দাও। দেখিবে, ঠেলিতে বেশ জোর লাগে এবং আঙ্গুলের উপর বাতাসের চাপবৃদ্ধি অনুভব করিতে পারিবে।

(2) **U-নলের সাহায্যে চাপ মাপন**

U-নলের সাহায্যে কোনও আবদ্ধ পাত্রস্থ গ্যাসের চাপ সহজে মাপা যায়। গ্যাসের চাপ মাপিবার যন্ত্রকে ম্যানোমিটার (manometer) বলে। মনে কর, A একটি কাচের সিলিণ্ডার। ইহার মধ্যে বায়ু বা অন্য কোনও গ্যাস আবদ্ধ আছে। সিলিণ্ডারটির মধ্যে একটি বায়ু-নিরুদ্ধ (air tight) পিস্টন P উঠানামা করিতে পারে এবং সিলিণ্ডারটির পার্শ্বে একটি প্যাঁচকলযুক্ত ছোট পার্শ্বনল আছে। ইহাদ্বারা সিলিণ্ডারটি একটি সরু U-নলের একটি বাহুর খোলা মুখের সঙ্গে যুক্ত। U-নলের নীচের অংশে পারদ বা জল রহিয়াছে। সিলিণ্ডারের মধ্যস্থ গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইলে U-নলের দুই বাহুতে তরল

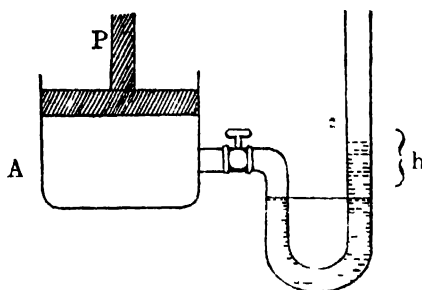



Fig 84
U-নলের সাহায্যে চাপ মাপন (ম্যানোমিটার)

পদার্থ একই সমতলে থাকিবে। পিস্টন P ভিতর দিকে ঠেলিয়া আয়তন কমাইলে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পাইবে এবং বাঁদিকের বাহুতে তরলের তল নামিয়া যাইবে এবং ডানদিকের বাহুতে উঠিবে। সহজেই বুঝিতে পারা যায়, যদি দুই বাহুতে তরলের তলের মধ্যে উচ্চতার তারতম্য 'h' হয় এবং 'd' তরলের ঘনত্ব হয়, তাহা হইলে গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে 'hdg' অধিক।

বিপরীত পক্ষে, পিস্টন P উপর দিকে উঠাইলে গ্যাসের আয়তন বাড়িবে এবং সঙ্গে সঙ্গে চাপ কমিবে। এ ক্ষেত্রে দেখা যাইবে U-নলের বাম বাহুতে তরলের তল উপরে উঠে এবং ডান বাহুতে নীচে নামে। পূর্বের মত 'h' এবং 'd' যদি যথাক্রমে দুই বাহুতে তরলের উচ্চতার পার্থক্য এবং তরলের ঘনত্ব হয়, তাহা হইলে সিলিণ্ডারে গ্যাসের চাপের পরিমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে 'hdg' কম হইবে।

(3) সঙ্কুচিত বা প্রসারিত হইতে পারে এমন একটি পাত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস আবদ্ধ করিয়া যদি পাত্রের উপর বহিশ্চাপ হ্রাস বা বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে গ্যাসের আয়তনের বৃদ্ধি বা হ্রাস অতি সুন্দর ভাবে লক্ষ্য করা যায়।

পরীক্ষা: একটি রবারের বেলুনে অল্প বায়ু ভর্তি করিয়া বেলুনের মুখটি সূতা দিয়া বাঁধিয়া দাও। তারপর বেলুনটিকে একটি বাত-পাম্পের প্লেটের উপর রাখিয়া একটি বেলজার দিয়া ঢাকিয়া দাও। বেলজার এবং প্লেটের সংযোগস্থল ভেসিলিন লাগাইয়া বায়ুনিরুদ্ধ (air-tight) কর। তারপর পাম্পের সাহায্যে বেলজারের ভিতর হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে থাক। বায়ু নিষ্কাশিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে বেলুনের উপর চতুর্দিকের চাপ কমিতে থাকে এবং বেলুন ফুলিয়া উঠে। অর্থাৎ গ্যাসের উপরকার চাপ কমাইলে উহার আয়তন বাড়িয়া যায়। পুনরায় বেলজারে বায়ু প্রবেশ করিবার সঙ্গে সঙ্গে বেলুন সঙ্কুচিত হইয়া পূর্বাবস্থা প্রাপ্ত হয়।

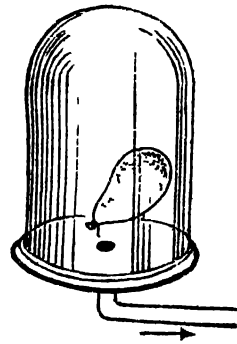



Fig 85
চাপের সহিত আয়তনের সম্পর্ক

16. বয়েল সূত্র (Boyle's law)

সপ্তদশ শতাব্দীতে রবার্ট বয়েল (Robert Boyle) অনেক পরীক্ষার পর গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্কে একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র 'বয়েল সূত্র' (Boyle's law) নামে খ্যাত। সূত্রটি আমরা এইভাবে বলিতে পারি—

উষ্ণতার পরিবর্তন না হইলে কোনও নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উহার চাপের সহিত ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ যদি গ্যাসের আয়তন V হয় এবং চাপ P হয় তবে

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{অথবা } PV = \text{ধ্রুবক।}$$

P_1, P_2 ও P_3 চাপে কোনও নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি যথাক্রমে V_1, V_2 এবং V_3 হয় এবং উষ্ণতা যদি একই থাকে, তাহা হইলে বয়েল সূত্র অনুসারে

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3.$$

উষ্ণতা যদি একই থাকে, তবে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ হইলে আয়তন অর্ধেক হইবে, চাপ তিনগুণ হইলে আয়তন এক-তৃতীয়াংশ হইবে এবং চাপ চতুর্গুণ হইলে আয়তন এক-চতুর্থাংশ হইবে।

বায়ুচাপের ব্যবহারিক প্রয়োগ—সাইফন, পাম্প ইত্যাদি

(Practical applications of air pressure— siphon, pumps etc.)

17. প্রতি মুহূর্তে আমাদের শ্বাসকার্য বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্যে চলিতে থাকে কিন্তু ইহা আমাদের বিনা চেষ্টাতেই সংঘটিত হয়।

ইহা ছাড়া আমাদের নানাকার্যের সুবিধার জন্য আমরা বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভরশীল অনেকরকম যন্ত্রাদি ব্যবহার করি। ইহাদের মধ্যে কতকগুলি অত্যন্ত সরল এবং কতকগুলি অপেক্ষাকৃত জটিল। কিন্তু সকলেরই মূলনীতি প্রায় একই। এইরূপ কয়েকটি যন্ত্রের বিষয় আমরা আলোচনা করিব।

18. পেনফিলার (Pen-filler) বা কালি-উত্তোলক

সূচলো-মুখ একটি সরু ছোট কাচের নলের মাথায় একটি ফাঁপা রবারের টুপি পরাইয়া দিলেই এই যন্ত্র তৈয়ারি করা যায়। টুপিটি টিপিয়া ধরিলে নলের মুখ দিয়া খানিকটা হাওয়া বাহির হইয়া যায়। এই অবস্থায় নলের মুখটি দোয়াতের

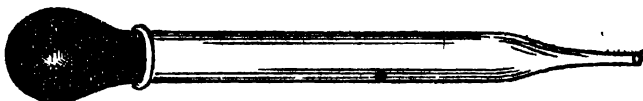
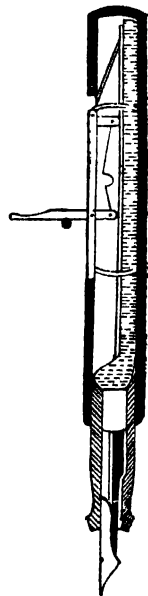



Fig. 86—কালি-উত্তোলক

মধ্যে ডুবাইয়া টুপিটি ছাড়িয়া দিলে, নলের ভিতরের বায়ুর আয়তন বাড়িয়া যায় এবং চাপ কমিয়া যায়। ইহার ফলে বায়ুমণ্ডলের চাপে খানিকটা কালি নলের মধ্যে প্রবেশ করে। দোয়াত হইতে তুলিয়া পুনরায় রবারের টুপিতে চাপ দিলে ভিতরের বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পায় এবং ইহার ফলে নল হইতে কালি বাহির হইয়া যায়।

19. খড়ের নল (Straw tube)

ইহা এত সহজ যে ইহাকে যন্ত্র বলিয়াই মনে হয় না। অথচ গ্লাসে ডুবাইয়া শরবত বা অন্য পানীয় খাইবার জন্য যখন তোমরা এই নল ব্যবহার কর তখন ইহা যন্ত্রের মতই কাজ করে। এই নলের এক মুখ পানীয়তে ডুবাইয়া আরেক দিকে মুখ দিয়া টানিলে ভিতরের বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। ইহার ফলে বায়ুমণ্ডলের চাপে পানীয় নলের ভিতর দিয়া উঠিয়া মুখে প্রবেশ করে।

20. স্বয়ং-ক্রিয় (self-filling) ফাউন্টেন পেন

নানারকমের স্বয়ং-ক্রিয় পেন আছে। একরকমের পেনের ভিতরে রবারের নল থাকে। নলের পাশে নল-বরাবর একটি ধাতুর পাত থাকে। পাতের বাহিরের দিকে একটি লিভারের সাহায্যে পাতটিকে ঠেলিয়া রবারের নলের উপর চাপ দেওয়া যায়। চাপ দিলে নলের ভিতর হইতে বায়ু বাহির হইয়া যায়। এই অবস্থায় পেনের মুখ কালিতে ডুবাইয়া লিভারটি নামাইয়া নলের উপর হইতে চাপ সরাইয়া লওয়া হয়। ইহাতে

Fig 87
স্বয়ং-ক্রিয় ফাউন্টেন পেন

নলের ভিতরের আয়তন বাড়িয়া যাওয়ায় বায়ুর চাপ কমে এবং বাহিরের বায়ুর চাপে কালি ভিতরে প্রবেশ করে।

21. পিচকারি (Syringe)

ডাক্তারগণ একধরনের পিচকারির সাহায্যে ইন্‌জেক্‌শন দেন। ইহাতে একটি সরু কাচের সিলিণ্ডারের মধ্যে একটি বায়ু-নিরুদ্ধ কাচের পিস্টন যাতায়াত করে। সিলিণ্ডারের অপরদিকে পৃথক্ একটি সূচের মত সরু ইস্পাতের লম্বা নল আটকান থাকে। সূচাল মুখটি কোনও তরল পদার্থে ডুবাইয়া পিস্টনটি উপরদিকে টানিলে সিলিণ্ডারের মধ্যে তরল পদার্থ উঠিয়া আসে। পিস্টনটি উপরে টানিলে, নীচের বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কমিয়া যায়। কাজেই বায়ুমণ্ডলের অধিকতর চাপের ফলে তরল পদার্থ সিলিণ্ডারের ভিতর প্রবেশ করে। পিচকারি তরল হইতে উঠাইয়া আনিলেও বহিঃস্থ বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য সূচাল মুখ দিয়া তরল পড়িয়া যায় না।

Fig. 88
পিচকারি (Syringe)

দোলের সময় রং দিবার জন্য যে পিচকারি ব্যবহার করা হয় তাহার কার্যপ্রণালীও এই রকম।

22. শোষক বা সাধারণ পাম্প (Suction or Common pump)

নলকূপে এই জাতীয় পাম্পের সাহায্যে মাটির নীচ হইতে জল টানিয়া তোলা হয়। এই পাম্পের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী নীচে দেওয়া হইল। (চিত্র 89 দেখ)

বর্ণনা: A একটি লোহার মোটা নল বা সিলিণ্ডার। ইহার ভিতর একটি জল-নিরুদ্ধ পিস্টন P উঠানামা করিতে পারে। পিস্টনটির নীচ-প্রান্তে একটি ভাল্‌ভ্ C আছে। ইহার নির্মাণ-কৌশল এইরূপ যে ইহার ভিতর দিয়া নীচ হইতে উপরে জল উঠিতে পারে কিন্তু উপর হইতে নীচে জল নামিতে পারে না। A নলের নীচে

অপেক্ষাকৃত সরু একটি নল যুক্ত আছে। যে পাত্র হইতে জল টানিয়া তুলিতে হইবে, তাহার মধ্যে এই নলটির নীচের প্রান্ত ডুবান থাকে। নলকূপে ইহা ভূগর্ভে জলের স্তর পর্যন্ত প্রোথিত থাকে। সরু ও মোটা নলের সংযোগস্থলে আরেকটি ভাল্‌ভ্‌ D আছে। এই ভাল্‌ভ্‌টিও প্রথমটির মত কেবলমাত্র উপর দিকে খোলে।

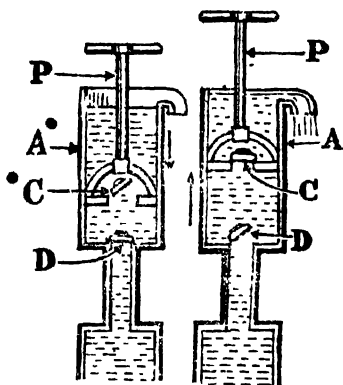



Fig 89—সাধারণ পাম্প

কার্যপ্রণালী ঃ মনে কর পিস্টনটি A সিলিণ্ডারের মধ্যে নিম্নতম অবস্থানে আছে এবং সিলিণ্ডার কিম্বা নলে জল নাই। এখন পিস্টনটিকে উপরের দিকে উঠাইলে পিস্টনের নীচে বায়ুচাপ কমিয়া যাইবে এবং ফলে D ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া গিয়া নীচের নল হইতে বায়ু A নলে C এবং D-র মধ্যে আসিবে। এইবার পিস্টনটিকে নীচের দিকে ঠেলিলে D ভাল্‌ভ্‌ বন্ধ হইয়া গিয়া উচ্চচাপের সৃষ্টি হইবে এবং ইহার ফলে C ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া বায়ু নলের বাহিরে চলিয়া আসিবে। সুতরাং পিস্টনটির ঊর্ধ্বগতির সময় সরু নল হইতে বায়ু A নলে প্রবেশ করে এবং নিম্নগতির সময় ঐ বায়ু নলের বাহিরে চলিয়া যায়। এইরূপ কয়েকবার উঠানামা করিবার ফলে নলের মধ্যে বায়ুর চাপ এত কমিয়া যায় যে, বাহিরের বায়ুর চাপে জল সরু নলের ভিতর দিয়া উঠিয়া D ভাল্‌ভের ভিতর দিয়া A নলে প্রবেশ করে। ইহার পর পিস্টন P যখন নীচের দিকে যায় তখন D ভাল্‌ভ্‌ বন্ধ থাকে এবং C ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া জল C-র উপরে আসে। পিস্টন যখন আবার উপর দিকে ওঠে তখন D ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া আরও জল A নলে প্রবেশ করে এবং C ভাল্‌ভের উপরের জল পাম্পের মুখ দিয়া বাহির হইয়া যায়। যতক্ষণ পিস্টন উঠানামা করে ততক্ষণ এইরূপ অনবরত হইতে থাকে।

এখানে বায়ুমণ্ডলের চাপেই জল পাম্পের নলে প্রবেশ করে। যেহেতু বায়ুর চাপ 34 ফুটের বেশী উচ্চ জলস্তম্ভ ধারণ করিতে পারে না, এজন্য এই পাম্পের

সাহায্যে 34 ফুটের বেশী গভীরতা হইতে জল তোলা যায় না। এই পাম্পের সাহায্যে নীচ হইতে দোতলায় বা কোন উচ্চস্থানে জল উঠান সম্ভব হয় না।

23. উত্তোলক পাম্প (Lift pump)

এই পাম্পের সাহায্যে নীচ হইতে পাম্প করিয়া জল অনেক উঁচুতে তোলা যায়। এই পাম্প পূর্ববর্ণিত সাধারণ পাম্পের মতই, কেবলমাত্র পাম্পটির মুখের সহিত একটি ঊর্ধ্বগামী নল যুক্ত থাকে। যেস্থান অবধি জল তুলিতে হইবে এই নলটি সেই অবধি প্রসারিত থাকে। এই ঊর্ধ্বগামী নলটি পাম্পের সঙ্গে যেখানে যুক্ত সেখানে একটি ভাল্‌ভ্ F আছে। এই ভাল্‌ভের ভিতর দিয়া সিলিণ্ডার A হইতে নলে জল প্রবেশ করিতে পারে কিন্তু নল হইতে সিলিণ্ডারে জল আসিতে পারে না।

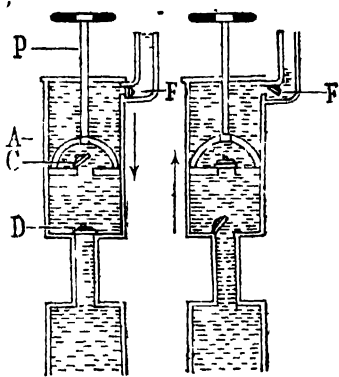



Fig 90—উত্তোলক পাম্প

A সিলিণ্ডারে পিস্টনের উপরে জল উঠিবার পর পিস্টনটি উপরে উঠাইলে জল F ভাল্‌ভের ভিতর দিয়া ঊর্ধ্বগামী নলে প্রবেশ করে এবং উপরে উঠিতে থাকে। যতবার পিস্টনটি উপর দিকে ওঠে ততবার ঊর্ধ্বগামী নলে জল প্রবেশ করে এবং ক্রমশঃ উপরে উঠিতে থাকে। নলটি উঁচু জলস্তম্ভ বহন করিবার উপযোগী মজবুত হওয়া প্রয়োজন।

এখানে বায়ুচাপের সাহায্য ব্যতীত পিস্টনে বল প্রয়োগ করিয়াই জল উচ্চে উঠান হইতেছে। কিন্তু যে জলাধার হইতে জল তোলা হয় তাহা পাম্প হইতে 30 ফুটের অধিক নীচে থাকিলে চলিবে না।

24. ফোর্স পাম্প (Force pump)

পাম্প করিয়া জল তুলিয়া বেগে নিক্ষেপ করিবার প্রয়োজন হইলে ফোর্স পাম্প ব্যবহার করা হয়। দমকলের সাহায্যে আগুন নিভাইবার সময় এই জাতীয় পাম্প ব্যবহৃত হয়।

সাধারণ পাম্পের সঙ্গে এই পাম্পের পার্থক্য চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে। এই পাম্পে P পিস্টনটি নিরেট—ইহার মধ্যে কোনও ভাল্‌ভ্ নাই। A সিলিণ্ডারের নীচের দিকে এক পার্শ্বে ইহার সহিত সংযুক্ত একটি নল আছে। সিলিণ্ডার ও এই নলের সংযোগস্থলে একটি ভাল্‌ভ্ F আছে। F-এর ভিতর দিয়া সিলিণ্ডার হইতে এই নলে জল যাইতে পারে কিন্তু বিপরীত দিকে আসিতে পারে না।

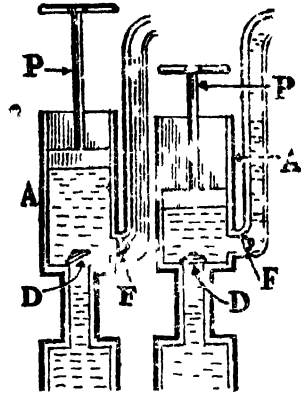



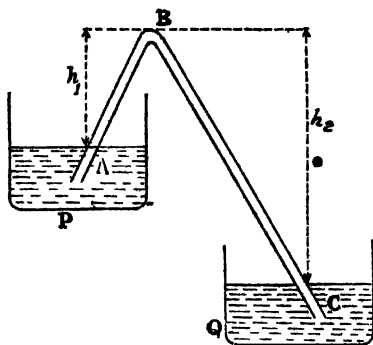
Fig 91 ফোর্স পাম্প

পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিলে D ভাল্‌ভের ভিতর দিয়া সিলিণ্ডারে প্রথমে বায়ু ও পরে জল প্রবেশ করে। প্রথমে যে বায়ু প্রবেশ করে, পিস্টনটি নীচে নামাইবার সময় সেই বায়ুর চাপে F ভাল্‌ভ্ খুলিয়া যায় এবং বায়ু নলের ভিতর দিয়া বাহির হইয়া যায়। এইরূপ কয়েকবার করিলে সমস্ত বায়ু বাহির হইয়া যায় এবং সিলিণ্ডারে জল ওঠে। তখন পিস্টনটি নীচে নামাইলে পিস্টনের চাপে জল F ভাল্‌ভের ভিতর দিয়া নলে প্রবেশ করে। এই সময় D ভাল্‌ভ্ বন্ধ থাকে। যতবার পিস্টন বলপূর্বক নীচে নামান যাইবে ততবারই সিলিণ্ডার হইতে জল বেগে পার্শ্বের নলে প্রবেশ করিবে এবং অবশেষে নলটি জলে পূর্ণ হইবার পর নল হইতে বাহির হইয়া যাইবে।

এখানেও সাধারণ পাম্পের মতই জলাধার হইতে সিলিণ্ডারে জল ওঠে। সুতরাং জলাধার হইতে পাম্পের উচ্চতা 30 ফুটের বেশী হইলে জল তোলা সম্ভব হয় না।

25. সাইফন (Siphon)

কোনও পাত্রকে না নাড়াইয়া ঐ পাত্রস্থ তরল পদার্থ অন্য পাত্রে স্থানান্তরিত করিতে সাইফন ব্যবহার করা হয়। সাইফন একটি বাঁকান নল ছাড়া আর কিছুই নহে। এই নলের এক বাহু অন্য বাহু অপেক্ষা বড়। পর পৃষ্ঠার চিত্র হইতে সাইফনের কার্যপ্রণালী বুঝিতে পারিবে। মনে কর ABC একটি সাইফন (কাচের

কিম্বা রবারের নল)। ইহার AB বাহু অপেক্ষা BC বাহু বড়। ইহার সাহায্যে P পাত্র হইতে জল Q পাত্রে স্থানান্তরিত করিতে হইবে। সাইফনটি জলদ্বারা (অর্থাৎ P পাত্রে যে তরল পদার্থ আছে সেই তরল দ্বারা) ভর্তি কর। খোলামুখ দুইটি দুই আঙ্গুল দিয়া বন্ধ করিয়া A মুখটি (অর্থাৎ ছোটবাহুর মুখটি) P পাত্রের জলে ডুবাইয়া দাও এবং C মুখটি খালি পাত্র Q-এর মধ্যে রাখ। আঙ্গুল সরাইয়া লইলে দেখা যাইবে P পাত্র হইতে জল সাইফনের ভিতর দিয়া গিয়া Q পাত্রে জমা হইতেছে।

Fig—92 সাইফন

চিত্র হইতে স্পষ্টই বুঝা যায় যে P পাত্র হইতে যতই জল Q পাত্রে গিয়া জমা হইতেছে ততই h_1 উচ্চতা বাড়িতেছে এবং h_2 উচ্চতা কমিতেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত $h_2 > h_1$ থাকিবে ততক্ষণ পর্যন্ত সাইফনের ভিতর দিয়া জলের প্রবাহ চলিবে। $h_1 = h_2$ হইলেই জলের প্রবাহ থামিয়া যাইবে।

সাইফনের কার্যকারিতার শর্ত :

বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্যে সাইফনের কার্য হয় বলিয়া

(1) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন কাজ করিবে না।

(2) বায়ুমণ্ডলের চাপ, যে উচ্চতার তরলস্তম্ভ ধারণ করিতে পারে (যেমন পারদের ক্ষেত্রে 30 ইঞ্চি এবং জলের ক্ষেত্রে 34 ফুট) h_1 তাহা অপেক্ষা ছোট হইতে হইবে। এতদ্‌ব্যতীত

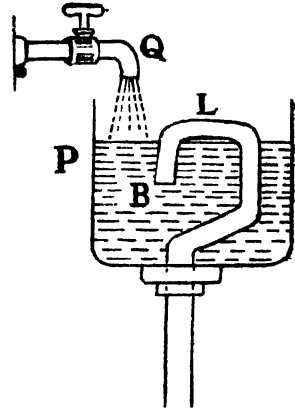
(3) h_1 অপেক্ষা h_2 বড় হইবে।

(4) সাইফনটি তরল পদার্থদ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি থাকিতে হইবে।

26. স্বয়ং-ক্রিয় জলপ্রবাহ (Automatic flush)

সাধারণের পায়খানা বা প্রস্রাবাগারে যে automatic flush ব্যবহৃত হয় তাহাতে সাইফনকে কাজে লাগান হয়। চিত্র হইতে ইহার কার্যপ্রণালী বুঝিতে পারিবে।

Fig 93
স্বয়ং-ক্রিয় জলপ্রবাহ

Q কল হইতে P জলাধারে (cistern) অনবরত জল পড়িতে থাকে। জলতল যখন L অবধি পৌঁছায় তখন সাইফনটি জলপূর্ণ হয় এবং জল সাইফনের দীর্ঘতর বাহুর ভিতর দিয়া বেগে বাহির হইতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত জলতল B অবধি অর্থাৎ ছোটবাহুর শেষপ্রান্ত অবধি না পৌঁছায়।

27. বায়ু-পাম্প (Air-pump)

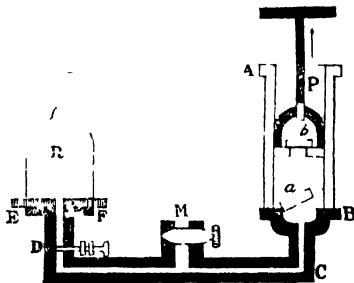
বায়ু-পাম্প প্রধানতঃ দুই প্রকার, যথা—

(1) বায়ুনিষ্কাশক পাম্প (Exhaust pump) ও (2) বায়ু-সংনমন পাম্প (Condensing or Compression pump)।

নিম্নে এই দুই প্রকার পাম্পের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করা হইল।

28. বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প (Exhaust pump)

বর্ণনা ঃ কোনও আধার হইতে বায়ু অপসারিত করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

Fig. 94—বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প

AB একটি শক্ত ধাতব চোঙ। ইহার মধ্যে একটি বায়ুনিরুদ্ধ (air-tight) পিস্টন P উপরে-নীচে উঠানামা করিতে পারে। চোঙের এবং পিস্টনের শেষ মাথায় দুইটি কপাট (valve) *a* এবং *b* আছে। এই দুইটি কপাটই কেবলমাত্র উপরদিকে খুলিতে পারে। চোঙটি CD নলদ্বারা একটি ধাতুর প্লেট EF-এর সহিত সংযুক্ত। EF প্লেটের কেন্দ্রস্থলে অবস্থিত একটি ছিদ্র CD নলের বহির্মুখ।

EF প্লেটের উপর বসান R একটি আধার। এই আধার হইতে বায়ু-নিষ্কাশন করা হয়। আধারটিকে বায়ুনিরুদ্ধ করিবার জন্য ইহার বেড় ও প্লেটের স যোগস্থলে চর্বি (grease) জাতীয় বস্তু বেশ করিয়া লেপিয়া দেওয়া হয়। M নলটি CD নলের একটি পার্শ্বনল। ইহার সহিত একটি ম্যানোমিটার যুক্ত থাকে। ম্যানোমিটারের সাহায্যে R আধারের বায়ুর চাপ মাপা যায়।

কার্যপ্রণালী : চোঙের ভিতরে পিস্টনের ঊর্ধ্বগতি এবং নিম্নগতি এই দুই পর্যায়ে এই যন্ত্রের কার্য হয়।

মনে করা যাক, প্রথমে পিস্টনটি চোঙের মধ্যে নিম্নতম অবস্থানে আছে। যখন পিস্টনটি উপরদিকে উঠে তখন পিস্টনের নীচে আয়তন বৃদ্ধি পাওয়াতে বায়ুর চাপ কমিয়া যায় এবং 'a' কপাটটি খুলিয়া যায়। তখন আধার হইতে বায়ু আসিয়া চোঙ পূর্ণ করে। 'b' কপাট তখনও উপরস্থ বায়ুব চাপে বন্ধ থাকে। পিস্টনটি উপর-দিকে সম্পূর্ণ উঠিবার পর যখন পুনরায় নীচের দিকে নামিতে থাকে তখন পিস্টনের নীচের বায়ুব সঙ্কোচনের ফলে চাপ বাড়িয়া যায়। ইহাতে 'a' কপাট বন্ধ হইয়া যায় এবং 'b' কপাট খুলিয়া যায়। 'b' কপাটের ভিতর দিয়া 'a' এবং 'b' কপাটের অন্তর্বর্তী স্থানের বায়ু চোঙ হইতে বাহির হইয়া যায়। এইরূপভাবে পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিলে R আধারের বায়ু ক্রমশঃ নিষ্কাশিত হইতে থাকে। অবশেষে R আধারের বায়ুর চাপ এত কমিয়া যায় যে চোঙের মধ্যে পিস্টনটি উপরদিকে উঠিলেও 'a' কপাটটি আর খুলিতে পারে না। সুতরাং এই যন্ত্রদ্বারা কি পরিমাণ বায়ু নিষ্কাশন করা সম্ভব, তাহা নির্ভর করে কপাটের ভার ও গঠনের উপব। এইরূপ যন্ত্রদ্বারা আধারের বায়ুব চাপ 1 বা 2 মিলিমিটার পারদ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম করা যায় না।

এইরূপ দুইটি পাম্প যদি এমনভাবে যুক্ত থাকে যে একটির পিস্টন যখন উপর-দিকে ওঠে তখন অপরটির পিস্টন নীচের দিকে নামে তাহা হইলে বায়ু-নিষ্কাশন দ্বিগুণ তাড়াতাড়ি হয়। এই যুক্ত পাম্পকে দ্বি-চোঙ পাম্প (Double barrel pump) বলে।

29. পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিবার পর R আধারের বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ নির্ণয় প্রণালী

মনে করা যাক, R আধারের আয়তন (CD নলসহ) এবং পিস্টনের সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ অবস্থানের মধ্যে চোঙের আয়তন যথাক্রমে V এবং v। প্রথমে R-এর ভিতরের বায়ুর চাপ P_0 ধরা যাক।

পিস্টনটি একবার উঠিবার পর R আধারের বায়ুর আয়তন হয় $V+v$; তখন চাপ কমিয়া যদি P_1 হয় তাহা হইলে বয়েল সূত্রানুসারে,

$$P_1(V+v)=P_0V$$

$$\therefore \qquad P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)P_0.$$

পিস্টনটি একবার উঠিবার পর যখন নামিবে তখনও R আধারে বায়ুর চাপ P_1 থাকিবে কিন্তু আয়তন হইবে V। দ্বিতীয়বাব উঠানামা করিবার পব চাপ আরও কমিবে এবং এই চাপ যদি P_2 হয় তাহা হইলে পুনরায় বয়েল সূত্রানুসারে,

$$P_2(V+v)=P_1V$$

$$\text{বা, } P_2=\frac{V}{V+v}.P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2 P_0.$$

এইরূপে দেখান যায যে, n বার পিস্টনটি উঠানামা করিবার পর আধারের বায়ুব চাপ যদি P_n হয, তাহা হইলে

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n P_0.$$

মনে কর, আধারের বায়ুব প্রাথমিক ঘনত্ব ও পিস্টনটি n বার উঠানামা করিবার পর ঘনত্ব যথাক্রমে D_0 এবং D_n.

যেহেতু বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব সমানুপাতিক

$$\text{সুতরাং } \frac{D_n}{D_0}=\frac{P_n}{P_0}=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$$

$$\text{বা} \quad D_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n D_0.$$

এই সমীকরণ হইতে লক্ষ্য করা যায় 'n'-এর মান বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে D_n-এর মান কমিতে থাকে কিন্তু কখনই শূন্য হয় না। অর্থাৎ আধারটিকে সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা যায় না।

30. বায়ু-সংনমন পাম্প (Condensing or Compression pump)

এই যন্ত্রের সাহায্যে কোনও বদ্ধ আধারে, যেমন ফুটবল ব্লাডার, সাইকেল বা মোটর টায়ারের টিউব প্রভৃতিতে বায়ু প্রবেশ করান যায়।

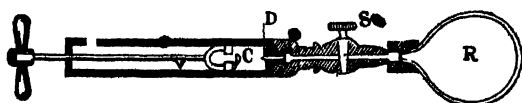



Fig 95—বায়ু-সংনমন পাম্প

গঠন ঃ একটি ধাতব চোঙের মধ্যে V একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন। পিস্টনটি চোঙের মধ্যে উঠানামা করিতে পারে। পিস্টনটি এবং চোঙের নীচের দিকে একটি করিয়া কপাট আছে। কপাট দুইটিই কেবলমাত্র বাহিরের দিকে অর্থাৎ আধারের দিকে খোলে। আধার R এবং পাম্প একটি নল দ্বারা সংযুক্ত। নলের মধ্যে একটি প্যাঁচকলও আছে। আধারে প্রয়োজনায় বায়ু ভর্তি করিবার পর প্যাঁচকলটি বন্ধ করিয়া ইহাকে স্থানান্তরিত করা যায়।

কার্যপ্রণালী

মনে করা যাক, প্রথমে V পিস্টনটি D কপাটের সংলগ্ন আছে। যখন পিস্টনদণ্ডটি বামদিকে সরাইয়া লওয়া হয় তখন C ও D কপাটের মধ্যবর্তী স্থানের বায়ুচাপ কমিয়া যাইবার ফলে C কপাট খুলিয়া যায় কিন্তু D কপাট আধারস্থ বায়ুর চাপে বন্ধ থাকে। C কপাট খুলিয়া গেলে বাহিরের বায়ু পাম্পের চোঙে প্রবেশ করে। ইহার পর পিস্টনটি যখন ডানদিকে সরান হয় তখন C কপাট বন্ধ হইয়া D কপাট খুলিয়া যায় এবং আধারে বায়ু প্রবেশ করে। পুনরায় পিস্টনটি বামদিকে সরিবার সময় D কপাট বন্ধ হইয়া যাইবে এবং C কপাট খুলিয়া আরও বাহিরের বায়ু চোঙের মধ্যে প্রবেশ করিবে। এইরূপ করিতে থাকিলে আধারে বায়ুর চাপ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে। এই পাম্পও দুই পর্যায়ে কাজ করে। দণ্ডটি বামদিকে সরিবার সময় বাহিরের বায়ু চোঙে প্রবেশ করে এবং ডানদিকে সরিবার সময় সেই বায়ু চোঙ হইতে আধারে প্রবেশ করে।

সাইকেলের পাম্প, ফুটবলের পাম্প এইপ্রকার পাম্পের উদাহরণ। এই সকল পাম্পে কপাটের গঠন লক্ষ্য করিবে। কপাটের পরিবর্তে পিস্টনের নীচে বাটির আকারে চামড়া লাগান থাকে—তাহাই কপাটের কাজ করে।

31. পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিবার পর R আধারে বায়ুর ঘনত্ব

মনে করা যাক, R আধারের আয়তন এবং পিস্টনটির দুই প্রান্তিক অবস্থানের মধ্যে চোঙের আয়তন যথাক্রমে V এবং v. R আধারের প্রাথমিক ঘনত্ব বায়ুমণ্ডলের বায়ুর ঘনত্বের সমান। ধরা যাক, এই ঘনত্ব D.

সুতরাং আধারের বায়ুর প্রাথমিক ভর = VD.

পিস্টনটি প্রতিবার আনাগোনার জন্য R আধারে vD ভরের বায়ু প্রবেশ করে। অতএব, পিস্টনটি চোঙের মধ্যে n বার আনাগোনার পর R আধারে মোট বায়ুর ভর $= VD + nvD$. এই সময় R আধারে বায়ুর ঘনত্ব D_n হইলে,

$$VD_n = VD + nvD$$

$$\therefore \quad D_n = \frac{VD + nvD}{V} = \left(1 + \frac{nv}{V}\right)D$$

যেহেতু, চাপ $\propto$ ঘনত্ব

$$\therefore \quad P_n = \left(1 + \frac{nv}{V}\right)P.$$

Worked out examples

1. একটি বায়ুপূর্ণ বোতল সমুদ্রের জলে উপুড় করিয়া ডুবান হইল। সমুদ্রের কত গভীরতায় ইহা অর্ধেক জলপূর্ণ হইবে ?

(সমুদ্রের জলের ঘনত্ব $1{\cdot}02$ gm./cm^3.)

প্রথমে বোতলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। সমুদ্রের মধ্যে বোতলটি অর্ধেক জলপূর্ণ হইলে বায়ুর আয়তন সঙ্কুচিত হইয়া অর্ধেক হইবে। বয়েল সূত্রানুসারে তখন বোতলের বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের দ্বিগুণ হইবে।

যেহেতু সমুদ্রের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়িতেছে সুতরাং আমাদিগকে নির্ণয় করিতে হইবে কত গভীরতায় কেবলমাত্র সমুদ্রজলের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান।

মনে করা যাক, নির্ণেয় গভীরতা h cm.

বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 cm পারদস্তম্ভের চাপের সমান ধরিলে,

$$h \times 1{\cdot}02 = 76 \times 13{\cdot}6 \qquad [\text{ পারদের ঘনত্ব } = 13{\cdot}6 \text{ gm/cm}^3]$$

$$\text{বা} \quad h = \frac{76 \times 13{\cdot}6}{1{\cdot}02} \text{ cm}$$

$$= 1014 \text{ cm.}$$

2. একটি ব্যারোমিটার নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 1 বর্গ সে. মি.। ইহার অভ্যন্তরস্থ পারদস্তম্ভের উপর অল্প বায়ু আছে। যখন প্রকৃত বায়ুচাপ 78 cm এবং 71·8 cm হয় তখন ঐ ব্যারোমিটারের পাঠ হয় যথাক্রমে—77 cm এবং 71 cm. নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক অবস্থায় আয়তন নির্ণয় কর।

স্পষ্টই দেখা যায়, যখন বায়ুমণ্ডলের চাপ 78 cm তখন নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ = 1 cm. তখন নলের বায়ুপূর্ণ অংশের দৈর্ঘ্য h cm ধরিলে আয়তন হইবে h c.c. প্রকৃত বায়ুর চাপ যখন 71·8 তখন নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ ·8 cm. তখন নলের বায়ুপূর্ণ অংশের দৈর্ঘ্য $= h + (77 - 71)$ cm বা $h + 6$ cm. সুতরাং ইহার আয়তন $h + 6$ c.c.

সুতরাং বয়েল সূত্রানুসারে,

$$h \times 1 = (h + 6) \times {\cdot}8$$

$$\text{বা} \quad h = 24 \text{ cm,}$$

স্বাভাবিক অবস্থায় বায়ুর আয়তন V c.c. হইলে, যেহেতু বায়ুর স্বাভাবিক অবস্থায় চাপ 76 cm,

$$\text{সুতরাং, } V \times 76 = 24 \times 1$$

$$\text{বা,} \quad V = \tfrac{24}{76} \text{ c.c.}$$

$$= {\cdot}316 \text{ c.c.}$$

3. একটি সংনমন পাম্পের চোঙ এবং বদ্ধ পাত্রের আয়তন যথাক্রমে 75 ঘন সে. মি. এবং 1000 ঘন সে. মি.। পিস্টনটি কতবার উঠানামা করিলে বদ্ধপাত্রে বায়ুচাপ চতুর্গুণ হইবে ?

n বার উঠানামার পরে চাপ

$$P_n = \left(1 + n\frac{v}{V}\right)P_0$$

(v ও V যথাক্রমে পাম্পের চোঙ ও বদ্ধপাত্রের আয়তন এবং P_0 প্রাথমিক চাপ)।

এখানে $P_n = 4P_0$, $v = 75$ ঘন সে. মি. এবং

$V = 1000$ ঘন সে. মি.

$\therefore \quad 4P_0 = (1 + n\frac{75}{1000})P_0$

$n = \frac{3 \times 1000}{75}$

$= 40.$

অর্থাৎ 40 বার পিস্টনটি উঠানামার পর বদ্ধপাত্রে বায়ুর চাপ চতুর্গুণ হইবে।

অনুশীলনী

1. Describe two experiments to demonstrate the existence of atmospheric pressure What is the magnitude of this pressure ?
   বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার জন্য দুইটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। এই চাপের পরিমাণ কত ?
2. Describe, with the help of a neat diagram, the construction and use of a Fortin s barometer
   চিত্রের সাহায্যে একটি ফোর্টিন ব্যারোমিটারের গঠন বর্ণনা কর এবং ইহার ব্যবহার প্রণালী বুঝাইয়া দাও।
3. Calculate the atmospheric pressure in gravitational and absolute units when the barometric height is 765 mm.
   পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 765 মিলিমিটার হইলে বায়ুচাপের পরিমাণ অভিকর্ষিক এবং পরম এককে নির্ণয় কর।

4. What is Torricellian Vacuum ? Why is it so called ?

'টরিসেলীয় শূন্যস্থান' কাহাকে বলে ? কেন বলে ?

5. What sort of difference would you expect between the barometric readings at Puri and at Darjeeling and why ? How is the weather related with the barometer reading at a given place ?

পুরী এবং দার্জিলিঙে ব্যারোমিটারের পাঠে কেন এবং কিরূপ পার্থক্য হয় ? আবহাওয়ার অবস্থার সহিত ব্যারোমিটারের পাঠের সম্বন্ধ কি ?

6 State and explain Boyle's law.

বয়েল সূত্রটি লিখ এবং বুঝাইয়া দাও।

7. Describe a compression pump and an exhaust pump and state the difference betwen the two Can you make a perfect vacuum with an exhaust pump ?

একটি বায়ু-সংনমন পাম্প ও একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প বর্ণনা কর। ইহাদের মধ্যে পার্থক্য কি ? পাম্পের সাহায্যে কোনও আধারকে সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা সম্ভব কি ?

8. Explain the principle of a siphon with the help of a diagram. Mention a few practical uses of this

সাইফনের মূলনীতি একটি চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। ইহার কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

9 Explain, with a neat diagram, the action of a suction pump. Why is it not possible to lift water from a depth greater than 34′ with such a pump ?

একটি শোষক পাম্পের চিত্র আঁকিয়া উহার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। এই পাম্পের সাহায্যে 34 ফুটের অধিক গভীরতা হইতে জল তোলা যায় না কেন ?

10. Draw a neat diagram of a force pump and explain the action of its different parts.

একটি ফোর্স পাম্পের চিত্র আঁকিয়া উহার বিভিন্ন অংশের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।

তাপ

(HEAT)

তাপ (Heat)

প্রথম অধ্যায়

তাপ ও তাপের কার্য, উষ্ণতা এবং উষ্ণতা-মাপন

1. তাপ

আমাদের সকলেরই তাপের সঙ্গে পরিচয় আছে। সাধারণ অভিজ্ঞতায় আমরা জানি কোনও বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে উহা উত্তপ্ত বা গরম হয় এবং কোনও বস্তু হইতে তাপ অপসারিত করিলে উহা শীতল বা ঠাণ্ডা হয়। কেটলিতে চায়ের জল গরম করিতে হইলে আমরা উনান বা স্টোভের উপর কেটলি বসাইয়া দেই। সেখান হইতে তাপ পাইয়া জল গরম হইয়া ওঠে। আবার গরম দুধের বাটি তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা করিবার সহজ উপায় হইল একটা থালার মধ্যে ঠাণ্ডা জলে বাটিটি বসাইয়া দেওয়া। ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে গরম দুধের বাটি তাপ হারাইয়া ঠাণ্ডা হয় আর ঠাণ্ডা জল সেই তাপ পাইয়া অপেক্ষাকৃত গরম হয়।

সুতরাং আমরা মোটামুটিভাবে বলিতে পারি তাপ এমন কিছু, যাহার প্রয়োগে বস্তু উত্তপ্ত হয় এবং যাহার অপসারণে বস্তু শীতল হয়।

যে কারণে বা যাহার ফলে পদার্থের কোনও রূপ পরিবর্তন ঘটে, বিজ্ঞানে তাহার সাধারণ নাম **শক্তি**। এই পরিবর্তন স্থানের পরিবর্তন হইতে পারে, অবস্থার পরিবর্তন হইতে পারে অথবা গঠনের পরিবর্তন হইতে পারে। এই হিসাবে **তাপ, আলো, শব্দ, বিদ্যুৎ** প্রভৃতি শক্তির বিভিন্ন রূপ। ইহারা পদার্থ নয়; পদার্থের মত ইহাদের বিস্তৃতি নাই, ভর নাই, ভার নাই; কিন্তু ইহাদিগকে মাপা যায়। ইহারা যে পরিবর্তন ঘটায় বা 'কার্য' করে তাহারই পরিমাণ দ্বারা ইহাদের মাপ হয়।

2. তাপের কার্য (Effects of heat)

তাপের যে কার্য আমাদের নিকট সর্বাপেক্ষা বেশী পরিচিত তাহার কথা উপরে বলা হইয়াছে। তাহা হইল তাপপ্রয়োগে পদার্থ উত্তপ্ত হয়, তাপের অপসারণে শীতল হয়। এই কথাটাই বিজ্ঞানের ভাষায় উষ্ণতা (temperature) শব্দের

ব্যবহার দ্বারা অন্যভাবে বলা যায়। বলা যায়, তাপপ্রয়োগে পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়, তাপ অপসারণে উষ্ণতা হ্রাস পায়। অর্থাৎ তাপের প্রধান কার্য পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন। সামান্য পর্যবেক্ষণ দ্বারাই আমরা বুঝিতে পারি যে, তাপদ্বারা পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন ব্যতীত অন্যান্য পরিবর্তনও ঘটে। সংক্ষেপে এইরূপ কয়েকটি পরিবর্তনের কথা উল্লেখ করা হইল।

(১) **আয়তনের পরিবর্তন :** কঠিন, তরল, গ্যাসীয়—সকল রকম পদার্থের আয়তন তাপপ্রয়োগে বৃদ্ধি পায় এবং তাপ-অপসারণে হ্রাস পায়। (এ সম্বন্ধে পরবর্তী অধ্যায়ে বিস্তৃতভাবে আলোচনা করা হইবে।)

(২) **অবস্থার পরিবর্তন :** তাপ প্রয়োগ করিলে পদার্থের কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তর ঘটে, যেমন বরফ গলিয়া জল হয়; তরল অবস্থা হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তর হয়, যেমন জল বাষ্পে পরিণত হয়। তাপের অপসারণে ইহার বিপরীত পরিবর্তন ঘটে অর্থাৎ পদার্থ গ্যাসীয় হইতে তরল হয় এবং তরল হইতে কঠিন হয়।

(৩) **রাসায়নিক পরিবর্তন :** তাপপ্রয়োগে অনেক রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় বা ত্বরান্বিত হয়। যেমন লৌহচূর্ণ এবং গন্ধকের মিশ্রণে তাপ দিলে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ফেরাস্ সালফাইড (FeS) তৈয়ারী হয়। তাপের ফলে অনেক যৌগিক পদার্থের বিশ্লেষণ (decomposition)-ও ঘটে, যেমন মারকিউরিক অক্সাইডে (HgO) তাপ দিলে উহা পারদ ও অক্সিজেনে বিশ্লেষিত হয়।

(৪) **দহন :** ইহাও একপ্রকার রাসায়নিক পরিবর্তন। কারবন, গন্ধক, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতি পদার্থকে যথেষ্ট উত্তপ্ত করিলে ইহারা অক্সিজেনের সহিত রাসায়নিকভাবে যুক্ত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে তাপ ও আলোর উদ্ভব হয়। ইহাই দহন।

(৫) **জীবননাশ :** অতিরিক্ত উত্তাপে উদ্ভিদ বা প্রাণী, কোন জীবই বাঁচিয়া থাকিতে পারে না। কোনও বীজ আগুনে উত্তপ্ত করিলে তাহা হইতে আর অঙ্কুরোদ্গম হয় না।

আবার অতিরিক্ত শৈত্য বা তাপের অভাবও জীবননাশের কারণ হয়।

(৬) **আলোর উদ্ভব :** তাপ হইতে আলোর উদ্ভব হয়। একখণ্ড লৌহকে তাপ দিতে থাকিলে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে একসময়ে উহা লাল হয়, পরে আরও

উষ্ণতা বৃদ্ধি হইলে উহা হইতে উজ্জ্বল সাদা আলো নির্গত হইতে থাকে (দৃষ্টান্ত—স্টোভের বার্ণার)। বৈদ্যুতিক বাল্‌বের তারও বিদ্যুৎপ্রবাহে উত্তপ্ত হইয়া আলো বিকিরণ করিতে থাকে।

(৭) **ভৌত পরিবর্তন (change of physical property)**

তাপপ্রয়োগে পদার্থের প্রায় সকল ভৌতিক ধর্মেরই (যেমন ঘনত্ব, স্থিতি-স্থাপকতা, বিদ্যুৎপরিবাহিতা ইত্যাদি) পরিবর্তন হয়।

[উপরে তাপের যে সকল কার্যের কথা উল্লেখ করা হইল এবং দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল, তাহার প্রত্যেকটি তোমরা পরীক্ষা করিয়া দেখিতে পার।]

উষ্ণতা ও উষ্ণতা-মাপন

(Temperature and its measurement)

3. উষ্ণতার অনুভূতি

গরম ও ঠাণ্ডার অনুভূতি আমাদের সকলেরই আছে এবং স্পর্শদ্বারা সেই অনুভূতি হয়। কতখানি গরম বা কতখানি ঠাণ্ডা তাহা বুঝাইবার জন্য আমরা 'উষ্ণতা' শব্দ ব্যবহার করি এবং উষ্ণতার একটি মাপকাঠি ঠিক করিয়া তাহার সাহায্যে উষ্ণতার পরিমাণ নির্দেশ করি। সাধারণতঃ আমাদের দেহের উষ্ণতা অপেক্ষা যে সব দ্রব্যের উষ্ণতা বেশী তাহাদিগকে আমরা গরম বলি ও যে সব দ্রব্যের উষ্ণতা তাহা অপেক্ষা কম তাহাদিগকে ঠাণ্ডা বলি।

পরীক্ষা : A, B, C তিনটি 500 c.c. বীকার লও। A বীকারে খুব গরম-জল (হাতে সহ্য হয় এমন), B বীকারে ঈষদুষ্ণ জল ও C বীকারে বরফজল অথবা এমনি ঠাণ্ডা জল রাখ। ডানহাত A বীকারে, বাঁহাত C বীকারে ঢুকাইয়া দাও। একটু পরে দুই হাতই পরপর B বীকারে ঢুকাও। B বীকারের জল ডানহাতে ঠাণ্ডা মনে হইবে, বাঁহাতে গরম মনে হইবে।

সুতরাং অনুভূতির উপর নির্ভর করিয়া আমরা উষ্ণতা নির্দেশ করিলে তাহা ঠিক হইবে না। উষ্ণতা নির্দেশের পক্ষে অনুভূতি যে নির্ভরযোগ্য নয় তাহা আরও কয়েকটি দৃষ্টান্ত হইতে আমরা বুঝিতে পারি। কাহারও জ্বর হইলে আমরা তাহার শরীর হাত দ্বারা স্পর্শ করিয়াই বুঝিতে পারি (যদিও জ্বরের পরিমাণ নির্দেশ করিতে পারি না) ; কিন্তু যাহার জ্বর হইয়াছে সে নিজে অনেক সময়ই স্পর্শদ্বারা

বুঝিতে পারে না। ঘরের ভিতরে সকল দ্রব্যেরই উষ্ণতা সমান থাকে কিন্তু শীতের দিনে কাঠের টেবিল-চেয়ার অপেক্ষা জানালার সিক অথবা কাঁসা-পিতলের বাসনপত্র অনেক ঠাণ্ডা মনে হয়। গরমের দিনে হয় ঠিক ইহার বিপরীত অনুভূতি।

আমাদের গরম এবং ঠাণ্ডার অনুভূতির মূলে রহিয়াছে তাপ-সঞ্চালন। দুইটি বিভিন্ন উষ্ণতার দ্রব্য পরস্পরের সংস্পর্শে থাকিলে উষ্ণতর দ্রব্য হইতে শীতলতর দ্রব্যের মধ্যে তাপ সঞ্চালিত হয় যতক্ষণ না উভয়ের উষ্ণতা সমান হয় (উপরে উল্লিখিত গরম দুধের বাটি ঠাণ্ডা করিবার জন্য জলে রাখিবার দৃষ্টান্তটির কথা মনে কর)। উপরের পরীক্ষায় গরম জলের বীকারে ডানহাত ডুবাইলে গরম জল হইতে তাপ হাতে প্রবেশ করিয়া হাতের উষ্ণতা বৃদ্ধি করে কিন্তু বামহাত হইতে তাপ ঠাণ্ডা জলে সঞ্চালিত হওয়ায় বামহাতের উষ্ণতা কমিয়া যায়। ডানহাতের উষ্ণতা ঈষদুষ্ণ জল হইতে বেশী বলিয়া B বীকারে ডানহাত ডুবাইলে ডানহাত হইতে তাপ জলে সঞ্চালিত হয় ফলে হাতে ঠাণ্ডার অনুভূতি হয়। কিন্তু বামহাতের উষ্ণতা কম বলিয়া B বীকারের ঈষদুষ্ণ জল হইতে বামহাতে তাপ প্রবেশ করিয়া গরমের অনুভূতি উৎপন্ন করে।

একই উষ্ণতার কাঠের দ্রব্য ও ধাতুদ্রব্য যে বিভিন্ন অনুভূতি উৎপাদন করে, ইহার কারণ হইল উহাদের তাপ পরিবহণ করিবার ক্ষমতার বিভিন্নতা। ধাতুদ্রব্যের ভিতর দিয়া তাপ যত দ্রুত সঞ্চালিত হইতে পারে, কাঠের ভিতর দিয়া তত দ্রুত পারে না। শীতের দিনে দেহের উষ্ণতা অপেক্ষা ঘরের উষ্ণতা কম থাকে। এজন্য দেহের সংস্পর্শে দেহ হইতে কাঠ ও ধাতুদ্রব্যে তাপ সঞ্চালিত হয় কিন্তু ধাতুদ্রব্যে দ্রুততর সঞ্চালিত হয় বলিয়া ধাতুদ্রব্যকে শীতলতর মনে হয়।

আবার গরমের দিনে যখন ঘরের উষ্ণতা দেহের উষ্ণতা অপেক্ষা বেশী থাকে, তখন কাঠ ও ধাতুদ্রব্য হইতে দেহে তাপ সঞ্চালিত হয় কিন্তু ধাতুদ্রব্য হইতে অধিকতর দ্রুত সঞ্চালিত হয় বলিয়া ধাতুদ্রব্যকে উষ্ণতর মনে হয়।

4. তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য (Distinction between heat and temperature)

তাপ ও উষ্ণতা পরস্পর সম্বন্ধযুক্ত কিন্তু বিভিন্ন। কোনও পদার্থে তাপ দিলে তাহার উষ্ণতা বাড়ে। বেশী তাপ দিলে বেশী বাড়ে, কম তাপ দিলে কম বাড়ে।

এই হিসাবে উষ্ণতাকে বলা যায় তাপের ফল (effect) এবং তাপকে বলা যায় উষ্ণতার কারণ (cause)। দুইটি বিভিন্ন পদার্থ বা বিভিন্ন পরিমাণের একই পদার্থকে সমপরিমাণ তাপ দিলে তাহাদের উষ্ণতাবৃদ্ধি সমপরিমাণ হয় না।

পরীক্ষা ঃ একটি বীকারে 200 c.c. ও আরেকটি বীকারে 400 c.c. জল লও। প্রথমে 200 c.c. জলের বীকারটি 5 মিনিট ধরিয়া স্পিরিটল্যাম্প অথবা গ্যাসবার্ণারের উপর গরম কর। তারপর ইহার উষ্ণতা পরীক্ষা কর। পরে 400 c.c. জলের বীকারটি একই ভাবে 5 মিনিট ধরিয়া গরম কর। লক্ষ্য কর এইবার জলের উষ্ণতা অনেক কম হইয়াছে।

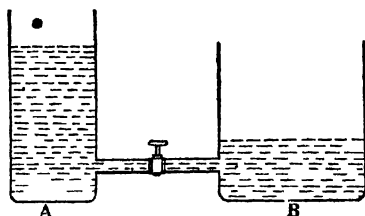
এই পরীক্ষা হইতে দেখা গেল, তাপপ্রয়োগ সমান হইলেও উষ্ণতাবৃদ্ধি সমান নাও হইতে পারে।

দুইটি বিভিন্ন উষ্ণতার পদার্থ পরস্পরের সংস্পর্শে আসিলে কোন্ পদার্থ হইতে কোন্ পদার্থে তাপ যাইবে তাহা নির্ভর করে তাহাদের উষ্ণতার পার্থক্যের উপর— তাপের পার্থক্যের উপর নহে। যে পদার্থের উষ্ণতা বেশী সেই পদার্থ হইতে যে পদার্থের উষ্ণতা কম তাহাতে তাপ যায়।

একটি সূচকে অল্পক্ষণ আগুনের শিখায় ধরিয়া তাপ দিলে অত্যন্ত উষ্ণ ও লাল টকটকে হইয়া যাইবে। একবালতি ঈষদুষ্ণ জলে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী তাপ আছে। তবুও লাল টকটকে সূচটিকে বালতির জলে ধরিলে উহা তাপ হারাইয়া ঠাণ্ডা হইয়া যাইবে।

তাপ ও উষ্ণতার সম্পর্ক একটি উদস্থৈতিক তুলনা হইতে আরও পরিষ্কার ভাবে বুঝা যাইবে।

Fig 1—তাপ ও উষ্ণতার উদস্থৈতিক তুলনা

A এবং B দুইটি জলাধার একটি নলদ্বারা সংযুক্ত। নলের মধ্যে একটি প্যাঁচকল আছে। প্যাঁচকলটি বন্ধ করিয়া দুইটি পাত্রে জল ঢালা হইল। A পাত্রে জলের পরিমাণ B পাত্রে জলের পরিমাণ হইতে কম কিন্তু A পাত্রে জলতলের উচ্চতা B পাত্রে জলতলের উচ্চতা হইতে বেশী। এখন পাঁচকলটি খুলিয়া দিলে, যতক্ষণ

না দুইপাত্রে জলতলের উচ্চতা সমান হয় ততক্ষণ পর্যন্ত A পাত্র হইতে B পাত্রে জল যাইতে থাকিবে। সুতরাং দুইটি পাত্রের মধ্যে জলের প্রবাহ নির্ভর করে পাত্র দুইটির জলতলের উচ্চতার পার্থক্যের উপর—জলের পরিমাণের উপর নহে। তদ্রূপ দুইটি বস্তুর মধ্যে তাপ চলাচল নির্ভর করে তাহাদের উষ্ণতার পার্থক্যের উপর—তাহাদের মধ্যে তাপের পরিমাণের উপর নহে। এখানে জলের সঙ্গে তাপের এবং জলতলের উচ্চতার (water level) সঙ্গে উষ্ণতার তুলনা করা হইয়াছে। এদিক হইতে উষ্ণতাকে বলা যায় তাপের মাত্রা বা তল (level of heat)। তাপ-চলাচলের নিয়ম বুঝিবার পক্ষে এই উপমাটি সহায়ক।

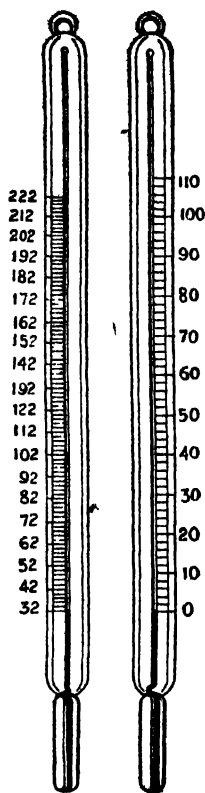



Fig. 2
সাধারণ থার্মমিটার
(ফারেনহাইট—সেন্টিগ্রেড)

কিন্তু দুইটি ক্ষেত্রের মধ্যে পার্থক্যটি মনে রাখিতে হইবে। জল একটি পদার্থ কিন্তু তাপ পদার্থ নহে। তাপ শক্তি-বিশেষ। আর উষ্ণতা হইল কোনও পদার্থের সেই তাপীয় অবস্থা যাহার উপর সেই পদার্থ হইতে অথবা সেই পদার্থে তাপ-চলাচল নির্ভর করে।

5. থার্মমিটার (Thermometer)

উষ্ণতা মাপিবার যন্ত্রকে বলে থার্মমিটার। উষ্ণতা সরাসরি মাপা যায় না। পূর্বেই বলা হইয়াছে অনুভূতির উপর নির্ভর করিয়াও উষ্ণতার মাপকাঠি নির্মাণ করা যায় না। এজন্য উষ্ণতা মাপিবার নিমিত্ত পদার্থের এমন কোনও ধর্ম বাছিয়া লওয়া হয় যাহা মাপা যায় এবং উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে যাহার পরিবর্তন হয়। পদার্থের আয়তন এইরকম একটি ধর্ম। উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে আয়তনের পরিবর্তন হয় এবং এই পরিবর্তন কঠিন পদার্থ অপেক্ষা তরল পদার্থের ক্ষেত্রে অধিক। এজন্য তাপে তরল পদার্থের প্রসারণের সাহায্য লইয়া সাধারণ থার্মমিটার তৈয়ারী হয়। সকল তরল পদার্থের মধ্যে পারদই সাধারণ থার্মমিটার

তৈয়ারির পক্ষে সর্বাপেক্ষা উপযোগী। নীচে একটি সাধারণ পারদ-থার্মমিটারের নির্মাণ-প্রণালী বর্ণিত হইল।

6. পারদ-থার্মমিটার নির্মাণ-প্রণালী (Construction of a mercury-in-glass thermometer)

পারদ-থার্মমিটার তৈয়ারি করিবার জন্য একটি দুইমুখ খোলা সর্বত্র সমান ছিদ্র বিশিষ্ট কৈশিক নল (capillary tube) লওয়া হয়। ইহাকে প্রথমে নাইট্রিক অ্যাসিড, পরে জল দিয়া ভাল করিয়া ধুইয়া শুষ্ক করা হয়। নলটির এক প্রান্তে সাবধানে একটি কুণ্ড বা বাল্‌ব (bulb) B গঠন করা হয় এবং অপর প্রান্তের একটু নীচে তাপ প্রয়োগ করিয়া খানিকটা অংশ (C) অপেক্ষাকৃত সরু করা হয়। তারপর নলের মধ্যে পারদ ঢালিবার জন্য নলের খোলামুখে ছোট রবারের নলের সাহায্যে একটি ফানেল F বসান হয়। ফানেলের মধ্যে পারদ ঢালিলে দেখা যায় যে নলের মধ্যে পারদ ঢোকে না। নলটি খুব সরু এবং ইহার ভিতরে বাতাস আছে বলিয়া এইরূপ হয়। বাল্‌বটি ধীরে ধীরে গরম করিলে নলের মধ্যস্থ বায়ু প্রসারিত হয় এবং খানিকটা বায়ু পারদের ভিতর দিয়া বুদ্‌বুদের আকারে বাহির হইয়া যায়। এখন বাল্‌বটি ঠাণ্ডা করিলে ভিতরের বায়ু সঙ্কুচিত হয় এবং কিছুটা পারদ নলের ভিতর দিয়া বাল্‌বে ঢোকে। এইরূপ কয়েকবার গরম ও ঠাণ্ডা করিয়া বাল্‌বটি ও নলটির কিয়দংশ পারদ দ্বারা ভর্তি করা হয়। পারদ ভর্তি করার পর বাল্‌বটি উত্তপ্ত করিয়া ইহার মধ্যস্থ পারদ ফুটান হয়। ফুটন্ত পারদের বাষ্প নলের ভিতর হইতে সমস্ত বায়ু বাহির করিয়া দেয়। তারপর বাল্‌ব এবং নলটি ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা হইলে ফানেল হইতে আরও পারদ নামিয়া আসিয়া সমগ্র বাল্‌ব ও নলটিকে পরিপূর্ণ করে। তখন ফানেল হইতে অতিরিক্ত পারদ সরাইয়া লওয়া হয়। ইহার পর পারদভর্তি বাল্‌ব ও নল এমন একটি উত্তপ্ত বাথে (bath) রাখা হয় যাহার উষ্ণতা থার্মমিটার দ্বারা যত দূর অবধি উষ্ণতা মাপা হইবে

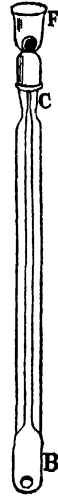
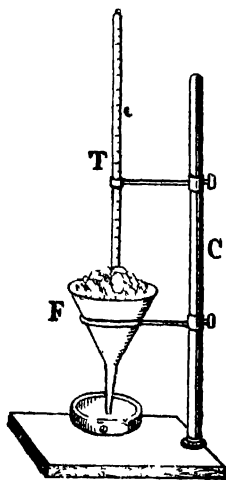



Fig 3
থার্মমিটার তৈয়ারি

তাহা অপেক্ষাও বেশী। এই অবস্থায় নলের সরু অংশ C ব্লো-পাইপ শিখার সাহায্যে গলাইয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ঠাণ্ডা হইলে পারদ বাল্‌ব ও নলের কিয়দংশ জুড়িয়া থাকে। এইরূপে থার্মমিটার তৈয়ারী হইল কিন্তু বাকী রহিল ইহাতে একটি উষ্ণতার স্কেল বসান। পারদের উষ্ণতার বৃদ্ধি বা হ্রাসের সঙ্গে সঙ্গে নলের মধ্যস্থ পারদসূত্রের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি বা হ্রাস হয়। সুতরাং পারদসূত্রের দৈর্ঘ্যের হ্রাসবৃদ্ধি মাপিবার জন্য নলের গায়ে একটি স্কেল অঙ্কিত করিয়া ঐ স্কেলের সাহায্যে উষ্ণতা মাপা হয়।

এই স্কেল তৈয়ারি করিবার জন্য প্রথমে দুইটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নলের মধ্যে পারদ-সূত্রের অবস্থান নির্ণয় করা হয়। এই দুইটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার (1) একটি হইল যে উষ্ণতায় বিশুদ্ধ বরফ গলে, (2) অপরটি হইল যে উষ্ণতায় স্বাভাবিক বায়ুর চাপে বিশুদ্ধ জল ফোটে। এই দুই উষ্ণতাকে যথাক্রমে (বরফের) গলনাঙ্ক (melting point of ice) এবং (জলের) স্ফুটনাঙ্ক (boiling point of water) বলে এবং এই দুই উষ্ণতায় থার্মমিটার নলে পারদসূত্রের অবস্থান চিহ্নদ্বয়কে যথাক্রমে হিমাঙ্ক (lower fixed point) ও স্ফুটনাঙ্ক (upper fixed point) বলে। ইহাদিগকে যথাক্রমে নিম্ন-স্থিরাঙ্ক এবং ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কও বলে।

Fig 4—হিমাঙ্ক নির্ণয়

7. নিম্ন-স্থিরাঙ্ক বা হিমাঙ্ক নির্ণয় (Determination of lower fixed point)

একটি ফানেলের (F) মধ্যে বিশুদ্ধ বরফের ছোট ছোট কতকগুলি টুকরা ভর্তি করিয়া (4নং চিত্র) উহাদের মধ্যে থার্মমিটারের বাল্‌ব ও নলের নিম্নাংশ ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। থার্মমিটারটি একটি স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে এবং ফানেলটি আর একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে দাঁড় করান হয়। ফানেল হইতে বরফগলিত যে ফোঁটা ফোঁটা জল পড়ে তাহা ধরিবার জন্য নীচে একটি পাত্র বসান হয়। উষ্ণতাহ্রাসের জন্য পারদসূত্র নলের মধ্যে নামিতে নামিতে অবশেষে একস্থানে স্থির হইয়া

দাঁড়ায়। মিনিট দশেক স্থির হইয়া দাঁড়াইলে সেই স্থানে নলের গায়ে একটি সূক্ষ্ম দাগ কাটা হয়। ইহাই হইল থার্মমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক বা হিমাঙ্ক।

8. ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় (Determination of upper fixed-point)

ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইলে থার্মমিটারটিকে একটি হিপ্‌সোমিটারের (Hypsometer) মধ্যে রাখিতে হয়। 5নং চিত্র হইতে হিপ্‌সোমিটারের গঠন বুঝা যাইবে। C একটি তামার পাত্র। এই পাত্রে জল ফুটান হয়। C পাত্রের উপরে ইহার সহিত সংলগ্ন A ও B দুইটি তামার এক-অক্ষীয় (co-axial) চোঙ। A চোঙটি দৈর্ঘ্যে B চোঙ হইতে ছোট। B চোঙের উপরের মুখ একটি কর্ক K দ্বারা ছিপিবদ্ধ। ফুটন্ত জলের স্টীম A চোঙের ভিতর দিয়া উঠিয়া A ও B চোঙের মধ্যবর্তী স্থানে যায় এবং O নলের ভিতর দিয়া বাহির হইয়া যায়। M একটি U-ম্যানোমিটার। ইহাদ্বারা স্টীমের চাপের অবস্থা বুঝা যায়। C পাত্রে জল ঢালিবার পর থার্মমিটারটি K কর্কের ভিতর দিয়া A চোঙের মধ্যে ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। থার্মমিটারের বাল্‌বটি C পাত্রের জলের তল হইতে কিছু উপরে রাখা হয়। ইহার পর হিপ্‌সোমিটারটি গ্যাসবার্ণার বা স্টোভের উপর বসাইয়া C পাত্রের জল ফুটান হয়।

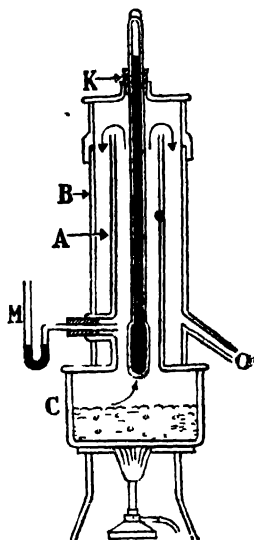



Fig. 5—স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয়

উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে থার্মমিটার নলের মধ্যে পারদসূত্র উপরে উঠিতে থাকে এবং অবশেষে একস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়ায়। ইহার কারণ হইল জল এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফোটে এবং একবার ফুটিতে আরম্ভ করিলে ইহার উষ্ণতার আর বৃদ্ধি হয় না। স্টীম এবং ফুটন্ত জলের উষ্ণতা একই। থার্মমিটারের পারদ স্টীমের মধ্যে থাকিতে থাকিতে যখন স্টীমের উষ্ণতা প্রাপ্ত হয় তখন উষ্ণতার আর বৃদ্ধি হয় না এবং পারদসূত্রও

স্থির হইয়া থাকে। পারদসূত্রের মাথা যেখানে নলের মধ্যে মিনিট দশেক স্থির হইয়া থাকে সেখানে নলের গায়ে আর একটি দাগ কাটা হয়। ইহাই ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক।

[জলের স্ফুটনাঙ্ক বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে। বায়ুমণ্ডলের চাপ যখন 76 সে. মি. পারদের সমান তখন যে স্ফুটনাঙ্ক তাহাকেই ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক ধরা হয়। সুতরাং বায়ুর চাপ 76 সে. মি. না হইলে ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের মানের একটু পরিবর্তন করিতে হয়।]

9. উষ্ণতা মাপিবার বিভিন্ন পদ্ধতি (Different scales of temperature) ও থার্মমিটারের অংশাঙ্কন (Graduation of a thermometer)

ঊর্ধ্ব ও নিম্ন-স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিবার পর উহাদের মধ্যবর্তী স্থানকে কতকগুলি সমান অংশে ভাগ করিয়া লইলেই উষ্ণতা মাপিবার একটি স্কেল তৈয়ারী হয়। এই স্কেলের প্রত্যেক অংশকে বলা হয় এক এক ডিগ্রী অর্থাৎ উষ্ণতা মাপিবার এককেকে বলা হয় ডিগ্রী। থার্মমিটারের স্কেল তৈয়ারি করিবার বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। ইহাদের মধ্যে যে দুইটি পদ্ধতি বেশী প্রচলিত তাহারা হইল—(1) সেণ্টিগ্রেড স্কেল (Centigrade Scale) ও (2) ফারেনহাইট স্কেল (Fahrenheit Scale)।

10. সেণ্টিগ্রেড স্কেল

এই স্কেলে নিম্ন-স্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে যথাক্রমে শূন্যডিগ্রী (0°C) ও একশত ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড (100°C) ধরা হয় এবং উহাদের মধ্যবর্তী স্থানকে সমান একশত অংশে ভাগ করিয়া প্রত্যেক অংশকে একডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড (1°C) বলা হয়।

11. ফারেনহাইট স্কেল

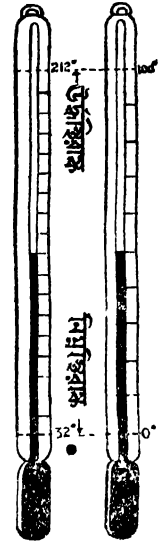
এই স্কেলে নিম্ন-স্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে যথাক্রমে 32°F ও 212°F ধরিয়া উহাদের মধ্যবর্তী স্থানকে 180 সমান অংশে ভাগ করা হয়। প্রত্যেক ভাগকে বলা হয় 1°F.

থার্মমিটারের নির্মাণ-পদ্ধতি ও দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করিয়া স্কেলের অংশাঙ্কন ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের উপরে এবং নিম্ন-স্থিরাঙ্কের নীচেও করা হয়। 0°র নীচের অংশাঙ্কনগুলির পাঠ −1°, −2°, −3°, এইরূপ ভাবে চলিতে থাকে।

থার্মমিটারের সাহায্যে উষ্ণতা নির্ণয়

এইরূপ একটি থার্মমিটারের সাহায্যে কোনও পদার্থের উষ্ণতা নির্ণয় করিতে হইলে থার্মমিটারের বাল্‌বটি সেই পদার্থের সঙ্গে যতটা সম্ভব নিবিড় সংস্পর্শে আনিতে হয়। তাহাতে থার্মমিটারের পারদের উষ্ণতা সেই পদার্থের উষ্ণতার সমান হয় এবং থার্মমিটার নলে পারদসূত্রের মাথা সেই উষ্ণতা অনুযায়ী একস্থানে আসিয়া স্থির হয়। সেই স্থানে স্কেলের যাহা পাঠ তাহাই ঐ পদার্থের উষ্ণতা নির্দেশ করে।

পরীক্ষা মনে কর একটি সেণ্টিগ্রেড থার্মমিটার দ্বারা পেয়ালায় যে গরম দুগ্ধ রহিয়াছে তাহার উষ্ণতা মাপিতে হইবে। থার্মমিটারের বাল্‌ব ও নলের কিয়দংশ দুধের মধ্যে ডুবাইয়া দাও। লক্ষ্য কর নলের মধ্যে পারদসূত্রের মাথা ক্রমশ উপরে উঠিতেছে এবং একস্থানে উঠিয়া আর উঠিতেছে না। ঐস্থানে থার্মমিটারের গায়ে অঙ্কিত স্কেলের পাঠ লও। মনে কর পাঠ হইয়াছে 52°C. সুতরাং ঐ দুগ্ধের উষ্ণতা 52°C.

Fig 6—সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলের সম্পর্ক

12. সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলের সম্পর্ক

মনে কর দুইটি সমান মাপের থার্মমিটার—একটি সেণ্টিগ্রেড ও অপরটি ফারেনহাইট—একটি পাত্রে অবস্থিত তরল পদার্থে ডুবান হইল। দুইটি থার্মমিটারের পারদসূত্র সমান দূর অবধি উঠিবে। কিন্তু দুইটির পাঠ বিভিন্ন হইবে। মনে কর সেণ্টিগ্রেড স্কেলে পাঠ হইল C এবং ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ হইল F. যেহেতু নিম্ন-স্থিরাঙ্কের উপরে দুইটি থার্মমিটারেই পারদসূত্রের দৈর্ঘ্য সমান,

সুতরাং $$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$$

অথবা $$\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$$

অথবা $$C=\frac{5}{9}\times(F-32)\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

এবং $$F=\frac{9}{5}C+32\ldots\ldots\ldots\ldots\ (2)$$

শেষোক্ত দুইটি সমীকরণের সাহায্যে এক স্কেলের পাঠ অন্য স্কেলে পরিবর্তিত করা যায়।

13. রেমার স্কেল (Reaumur Scale)

এই দুইটি স্কেল ব্যতীত রেমার (Reaumur) স্কেল নামে আরও একটি উষ্ণতার স্কেল ইওরোপের কোনও কোনও দেশে চলিত আছে। এই স্কেলের হিমাঙ্ক বা নিম্ন-স্থিরাঙ্ক 0°R এবং স্ফুটনাঙ্ক বা ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক 80°R। সুতরাং সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলের সঙ্গে এই স্কেলের সম্বন্ধ নিম্নলিখিত ভাবে প্রকাশ করা যায়—

$$\frac{R}{80} = \frac{C}{100} = \frac{F-32}{180}$$

বা $$\frac{R}{4} = \frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$$

14. উদাহরণ

(1) পারদের গলনাঙ্ক (Freezing Point) −40°C. পারদের গলনাঙ্ক কত ডিগ্রী ফারেনহাইট ?

$$\begin{aligned} F &= \tfrac{9}{5}C + 32 \\ &= \tfrac{9}{5} \times (-40) + 32 \\ &= -72 + 32 \\ &= -40 \end{aligned}$$

∴ পারদের গলনাঙ্ক −40°F. অর্থাৎ পারদের গলনাঙ্ক সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট এই উভয় স্কেলে একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(2) আমাদের দেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা 97°F. কত ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড ?

$$\begin{aligned} C &= \tfrac{5}{9} \times (F-32) \\ &= \tfrac{5}{9} \times (97-32) \\ &= \tfrac{5}{9} \times 65 \\ &= 36{\cdot}1 \end{aligned}$$

সুতরাং দেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা 36·1°C.

15. অন্যান্য থার্মমিটার

উপরে বর্ণিত সাধারণ থার্মমিটার ব্যতীত বিশেষ বিশেষ কার্যের জন্য আরও নানাপ্রকার থার্মমিটার আছে। পারদের কতকগুলি বিশেষ গুণের জন্য অধিকাংশ থার্মমিটারে পারদই ব্যবহৃত হয়। কোনও কোনও ক্ষেত্রে কোহল (alcohol),

সালফিউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি তরল পদার্থও ব্যবহৃত হয়। এখন আমরা বিশেষ কার্যের জন্য ব্যবহৃত কতিপয় থার্মমিটারের গঠন ও ব্যবহার প্রণালী সম্বন্ধে আলোচনা করিব।

(1) চিকিৎসকের থার্মমিটার বা জ্বর মাপা থার্মমিটার (Clinical thermometer)

এই থার্মমিটারে ফারেনহাইট স্কেল ব্যবহৃত হয় কিন্তু ইহা সাধারণ থার্মমিটার হইতে অনেক ছোট। ইহাতে স্কেল শুরু হয় 95°F হইতে এবং শেষ হয় 110°Fএ। নিখুঁত ভাবে উষ্ণতা মাপিবার জন্য এই থার্মমিটারে প্রত্যেক ডিগ্রীকে পাঁচ সমান অংশে ভাগ করা হয়; সুতরাং ইহার ক্ষুদ্রতম অংশের মান $\frac{1}{5}$°F বা ·2°F. চিত্রে দেখ (7নং চিত্র) থার্মমিটারের বাল্বের একটু উপরে একটি অংশ একটু বাঁকান ও সঙ্কুচিত। উষ্ণতা নির্ণয় করিবার জন্য এই থার্মমিটারের বাল্ব বগলে বা মুখে রাখা হয়। উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পারদসূত্র প্রসারিত হইয়া বাঁকান অংশ অতিক্রম করিয়া নির্দিষ্ট উষ্ণতার চিহ্ন অবধি গিয়া দাঁড়ায়। শরীর হইতে সরাইয়া আনিবার পর বাঁকান অংশের নীচের পারদসূত্র সঙ্কুচিত হইয়া বাল্বের মধ্যে চলিয়া যায়। কিন্তু উপরের অংশের পারদসূত্র বাঁকান অংশ অতিক্রম করিতে পারে না। ফলে পারদসূত্রের মাথা যে সর্বাধিক উষ্ণতা চিহ্ন অবধি পৌঁছিয়াছিল সেখানেই থাকিয়া যায় এবং সেখানকার পাঠ হইতেই দেহের উষ্ণতা জানা যায়। পুনরায় ব্যবহার করিবার পূর্বে থার্মমিটারটি ঝাঁকাইয়া উপরের অংশের পারদসূত্র নীচে বাল্বের মধ্যে নামাইয়া আনা হয়।

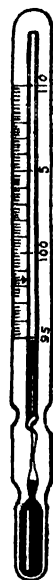



Fig 7
ক্লিনিক্যাল থার্মমিটার

(2) চরম (maximum) ও অবম (minimum) থার্মমিটার

অনেক সময় কোনও নির্দিষ্টকালের মধ্যে সর্বোচ্চ বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা জানিবার প্রয়োজন হয়। সর্বোচ্চ উষ্ণতা জানিবার জন্য চরম ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা জানিবার জন্য অবম থার্মমিটার ব্যবহৃত হয়। এইরূপ থার্মমিটার ব্যবহারের সুবিধা

এই যে, সর্বোচ্চ বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা জানিবার জন্য সর্বদা থার্মমিটারের দিকে লক্ষ্য রাখিয়া বসিয়া থাকিতে হয় না। যে-কোনও সময় থার্মমিটার দেখিলেই জানা যায় সেই সময় অবধি সর্বোচ্চ বা সর্বনিম্ন উষ্ণতা কত হইয়াছে। আবহাওয়ার উষ্ণতা মাপিবার জন্য এই ধরনের থার্মমিটার ব্যবহৃত হয়। উপরে যে ক্লিনিক্যাল থার্মমিটারের কথা বলা হইল তাহা একপ্রকার চরম থার্মমিটার।

(3) রাদারফোর্ডের চরম থার্মমিটার (Rutherford's maximum thermometer)

৪নং চিত্র হইতে এই থার্মমিটারের গঠন বুঝিতে পারিবে। বাল্‌ব B এবং নলের কিয়দংশ পারদপূর্ণ। পারদের ঠিক উপরে নলের ভিতরে রহিয়াছে ইস্পাতের একটি ছোট সূচক (index) S। থার্মমিটারটি একটি কাঠের ফ্রেমের উপর

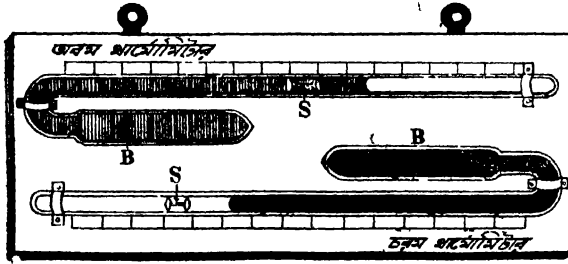



Fig 8—রাদারফোর্ডের চরম ও অবম থার্মমিটার

অনুভূমিক ভাবে শায়িত রাখা হয়। ব্যবহার করিবার পূর্বে একটি চুম্বকের সাহায্যে সূচকটিকে নাড়াইয়া ইহার ভিতরের দিকের প্রান্তকে পারদসূত্রের পৃষ্ঠের সংলগ্ন করা হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধি হইলে পারদসূত্র প্রসারিত হইয়া সূচকটিকে সম্মুখের দিকে ঠেলিয়া দেয়। উষ্ণতা কমিলে পারদসূত্র সঙ্কুচিত হয় কিন্তু সূচকটি পূর্বের স্থানেই থাকিয়া যায় এবং পারদসূত্রের উত্তলপৃষ্ঠ কতদূর গিয়াছিল তাহার সাক্ষ্য দেয়। পারদপৃষ্ঠের দিকে সূচকের যে প্রান্ত সেই প্রান্তে স্কেলের পাঠ সর্বোচ্চ উষ্ণতা নির্দেশ করে, কারণ পারদসূত্রের উত্তলপৃষ্ঠ ঐ চিহ্ন অবধি পৌছিয়াছিল।

(4) রাদারফোর্ডের অবম থার্মমিটার (Rutherford's minimum thermometer)

রাদারফোর্ডের অবম থার্মমিটারে পারদের পরিবর্তে কোহল ব্যবহার করা হয়। B বাল্‌ব এবং নলের অধিকাংশ কোহলপূর্ণ। এখানেও থার্মমিটারের

নলের মধ্যে একটি হাল্কা স্থচক (index) আছে কিন্তু স্থচকটি কাচের তৈয়ারী এবং কোহলের মধ্যে অবস্থিত। উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে কোহল প্রসারিত হইলে স্থচকটি কোহলের মধ্যে স্বস্থানে থাকিয়া যায় কিন্তু উষ্ণতা হ্রাসের ফলে কোহল সঙ্কুচিত হইবার সময় ইহার মুক্ত অবতলপৃষ্ঠ (free concave surface) স্থচকটিকে ভিতরের দিকে টানিয়া আনে। স্থচকটির যে প্রান্ত কোহলপৃষ্ঠের দিকে সেই প্রান্তের পাঠ সর্বনিম্ন উষ্ণতা নির্দেশ করে।

এই থার্মমিটারও একটি কাঠের ফ্রেমের উপর অনুভূমিক ভাবে শায়িত থাকে। ব্যবহারের পূর্বে ফ্রেমসুদ্ধ থার্মমিটার কাত করিয়া স্থচকের প্রান্তটিকে কোহলপৃষ্ঠের সংলগ্ন করা হয়। সাধারণতঃ রাদারফোর্ডের চরম ও অবম থার্মমিটার দুইটি একই কাঠের ফ্রেমে পাশাপাশি আটকান থাকে (Fig 8)।

(5) সিক্সের থার্মমিটার (Six's thermometer)

একটি চরম ও একটি অবম থার্মমিটার একত্র করিয়া সিক্সের থার্মমিটার তৈয়ারী হয়। 9নং চিত্র হইতে ইহার গঠন বুঝা যাইবে। B বাল্‌ব এবং থার্মমিটার নলের M_1 অবধি কোহলদ্বারা পূর্ণ। নলের নিম্নাংশ M_1 হইতে M_2 অবধি পারদদ্বারা পূর্ণ। M_2এর উপরে নল ও বাল্‌ব Rএর কিয়দংশ পুনরায় কোহলদ্বারা পূর্ণ। R বাল্‌বের উপরের অংশ খালি (প্রকৃতপক্ষে কোহলবাষ্পপূর্ণ)। দুইদিকে পারদপৃষ্ঠের উপরে S_1 এবং S_2 দুইটি ইস্পাতের স্থচক। ইহারা নলের মধ্যে স্প্রিংয়ের সাহায্যে হাল্কাভাবে আটকান। সমগ্র থার্মমিটারটি একটি কাঠের ফ্রেমের সহিত আটকান অবস্থায় উল্লম্বভাবে রাখা হয়।

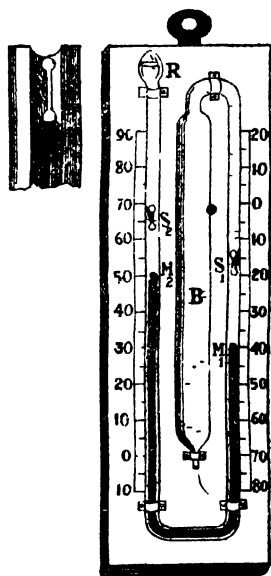



Fig 9—সিক্সের থার্মমিটার

ইহা ব্যবহার করিবার পূর্বে একটি চুম্বকের সাহায্যে S_1 এবং S_2 স্থচক দুইটির নীচের প্রান্ত পারদপৃষ্ঠ M_1 ও M_2এর সংলগ্ন করা হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধি হইলে B

বাল্বের কোহল প্রসারিত হইয়া পারদের উপর চাপ দেয়। ফলে পারদের M_1 পৃষ্ঠ নীচের দিকে এবং M_2 পৃষ্ঠ উপরদিকে যায়। M_2 পৃষ্ঠ উপরদিকে উঠিবার সময় S_2 সূচককে উপরদিকে ঠেলিতে থাকে। উষ্ণতা কমিলে B বাল্বের কোহল সঙ্কুচিত হয়, ফলে পারদের উপর চাপ কমে এবং M_1 পৃষ্ঠ উপরে ওঠে এবং M_2 পৃষ্ঠ নীচে নামিয়া আসে। S_2 সূচক পূর্বস্থানে থাকিয়া যায়। উষ্ণতা যত কমে, M_1 পৃষ্ঠ S_1 সূচককে তত উপরে ঠেলিতে থাকে। উষ্ণতা বাড়িলে M_1 পৃষ্ঠ নামিয়া যায় কিন্তু S_1 সূচক স্বস্থানে থাকিয়া যায়।

S_1 সূচকের নিম্নপ্রান্তের পাঠ সর্বনিম্ন উষ্ণতা ও S_2 সূচকের নিম্নপ্রান্তের পাঠ সর্বোচ্চ উষ্ণতা নির্দেশ করে।

B বাল্বের দিকে থার্মমিটার স্কেলের পাঠ বাল্ব হইতে পারদপৃষ্ঠের দিকে ক্রমবর্ধমান এবং R বাল্বের দিকে স্কেলের পাঠ পারদপৃষ্ঠ হইতে বাল্বের দিকে ক্রমবর্ধমান।

16. থার্মমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা

বিশেষ বিশেষ কার্যের জন্য পারদ ব্যতীত অন্য তরল পদার্থও (যেমন কোহল, সালফিউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি) থার্মমিটার নির্মাণে কখনও কখনও ব্যবহৃত হয় কিন্তু নিম্নলিখিত কারণে থার্মমিটারের পক্ষে পারদকেই সর্বাপেক্ষা উপযোগী তরল বলিয়া মনে করা হয়।

(1) পারদ সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

(2) পারদের রং চকচকে বলিয়া কাচের নলের মধ্যে ইহার উঠানামা স্পষ্ট দেখা যায়।

(3) বিশুদ্ধ পারদ কাচের গায়ে লাগিয়া থাকে না।

(4) পারদের আপেক্ষিক তাপ কম অর্থাৎ নির্দিষ্ট পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য ইহা অন্যান্য তরল অপেক্ষা কম তাপ গ্রহণ করে।

(5) তাপের পরিবাহিতা অন্যান্য তরলের তুলনায় পারদের বেশী।

(6) তাপে পারদের প্রসারণ ক্ষমতা থার্মমিটার নির্মাণের পক্ষে সুবিধাজনক।

(7) পারদ $-39°C$ উষ্ণতায় জমিয়া কঠিন হয় এবং $357°C$ উষ্ণতায় ফুটিয়া বাষ্প হয়। সুতরাং পারদ-থার্মমিটার $-39°C$ হইতে $357°C$ এই বিস্তীর্ণ উষ্ণতার পাল্লা (range) অবধি ব্যবহার করা যায়।

Worked out examples

1. মানবদেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা 98°F। সেন্টিগ্রেড স্কেলে এই উষ্ণতা কত ?

আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$

এখানে $F=98°$

$\therefore \frac{C}{5}=\frac{98-32}{9}$

বা $C=\frac{66}{9}\times 5=36\cdot6$

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা $=36\cdot6°C$.

2. কোন্ উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলে একই হইবে ?

আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$

এক্ষেত্রে $C=F=x$ (মনে কর)

$\therefore \frac{x}{5}=\frac{x-32}{9}$

বা $9x=5x-160$

বা $x=-40$.

অর্থাৎ $-40°C=-40°F$.

3. কোনও থার্মমিটারে হিমাঙ্ক 20° এবং স্ফুটনাঙ্ক 150°। 45°C উষ্ণতায় ঐ থার্মমিটারের পাঠ কত হইবে ?

ঐ থার্মমিটারে হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে অংশসংখ্যা $=150-20$
$=130$.

সেন্টিগ্রেড থার্মমিটারে হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে অংশসংখ্যা $=100$

$\therefore$ 100 সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী অংশ $=$ ঐ থার্মমিটারের 130 ডিগ্রী

$\therefore$ 45 সেন্টিগ্রেড অংশ $=$ ঐ থার্মমিটারের $\frac{130}{100}\times 45$ ডিগ্রী
$=58\cdot5$ ডিগ্রী

যেহেতু ঐ থার্মমিটারে হিমাঙ্কের পাঠ 20°

$\therefore$ 45°C উষ্ণতায় পাঠ হইবে $(20+58\cdot5)$ ডিগ্রী
$=78\cdot5°$

4. গন্ধকের গলনাঙ্ক 444·6° সেণ্টিগ্রেড। ফারেনহাইট স্কেলে গন্ধকের গলনাঙ্ক কত ?

$$\frac{F-32}{180}=\frac{C}{100}$$

এখানে $C=444{\cdot}6$

F নির্ণয় করিতে হইবে।

$$F=\frac{C}{100}\times 180+32$$

$$=\frac{444{\cdot}6\times 9}{5}+32$$

$$=800{\cdot}3+32$$

$$=832{\cdot}3$$

সুতরাং গন্ধকের গলনাঙ্ক 832·3°F.

অনুশীলনী

1. Distinguish between heat and temperature
   তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে পার্থক্য বিশদভাবে বুঝাইয়া দাও।
2. Describe the construction of an ordinary mercury-in-glass thermometer.
   একটি সাধারণ পারদ-থার্মমিটারের নির্মাণ-প্রণালী বর্ণনা কর।
3. What are the fixed points in a thermometer ? How are these determined ?
   থার্মমিটারের স্থিরাঙ্ক কাহাকে বলে ? স্থিরাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা হয় ?
4. What are the Centigrade and Fahrenheit Scales ? How are they related ?
   সেণ্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেল কি ? উহাদের মধ্যে পারস্পরিক সম্বন্ধ কি ?
5. Describe the construction of a clinical thermometer.
   দেহের উষ্ণতা মাপিবার একটি থার্মমিটারের বর্ণনা দাও।

6. What are maximum and minimum thermometers ? What is their use ?

Describe a Six's thermometer and explain how it is used.

চরম ও অবম থার্মমিটার কাহাকে বলে ? ইহাদের প্রয়োজনীয়তা কি ? সিক্সের থার্মমিটারের বর্ণনা দাও এবং ব্যবহার প্রণালী বর্ণনা কর।

7. Describe Rutherford's maximum and minimum thermometers.

রাদারফোর্ডের চরম ও অবম থার্মমিটার বর্ণনা কর।

8. What are the advantages of using mercury as a thermometric substance ? Compare the advantages of mercury and alochol in this respect.

থার্মমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা কি কি ? পারদ ও অ্যালকোহল ব্যবহারের সুবিধার তুলনা কর।

9. The lower and upper fixed points of a thermometer are marked 20° and 85° respectively. What will be its reading at 95°F ?

[Ans 42·75°]

কোনও থার্মমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক 20° এবং ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক 85° ; 95° ফারেনহাইট উষ্ণতায় ঐ থার্মমিটারের পাঠ কত হইবে

10. The intervals between the ice-points and the steam-points of two thermometers A and B are divided into 60 and 120 equal parts respectively and their lower fixed points are 10° and 0° respectively. What will be the reading of A when B reads 100° ? [Ans 60°]

মনে কর A ও B দুইটি থার্মমিটারের হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যবর্তী স্থান যথাক্রমে সমান 60 ও 120 অংশে ভাগ করা হইয়াছে। যদি উহাদের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক যথাক্রমে 10° ও 0° হয় তাহা হইলে যখন B-র পাঠ 100° তখন A-র পাঠ কত হইবে ?

দ্বিতীয় অধ্যায়

তাপে পদার্থের প্রসারণ

সাধারণতঃ তাপ প্রয়োগ করিলে উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে সকল পদার্থের প্রসারণ ঘটে। প্রসারণের পরিমাণ গ্যাসীয় পদার্থে সর্বাপেক্ষা বেশী, তারপর তরল পদার্থে এবং সর্বাপেক্ষা কম কঠিন পদার্থে। এই তিনপ্রকার পদার্থের প্রসারণ আমরা পৃথক্ ভাবে আলোচনা করিব।

17. কঠিন পদার্থের প্রসারণ

কঠিন পদার্থের প্রসারণ অত্যন্ত কম বলিয়া খালি চোখে প্রসারণ সহজে বুঝা যায় না। একটি উদাহরণ হইতে প্রসারণের পরিমাণ সম্বন্ধে কিছু ধারণা করিতে পারিবে। দশ মিটার লম্বা একটি লৌহদণ্ডের উষ্ণতা 100°C বৃদ্ধি পাইলে উহার দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হয় মাত্র এক সেন্টিমিটারের মত।

তাপে কঠিন পদার্থের প্রসারণ দেখাইবার জন্য নীচে কয়েকটি পরীক্ষা বর্ণিত হইল—

(*a*) **গ্রেভ্স্যাণ্ডের বল ও রিং পরীক্ষা (Gravesand's ball and ring experiment)**

একটি স্ট্যাণ্ড হইতে চেইনদ্বারা ঝুলান B একটি পিতলের বল। বলটি R আংটার (ring) ভিতর দিয়া কোনওক্রমে গলিয়া যায় অর্থাৎ বলটি ও আংটার ব্যাস

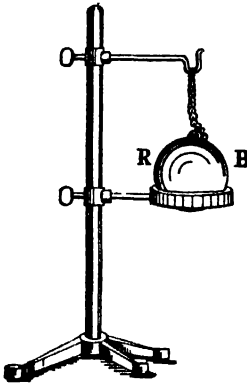
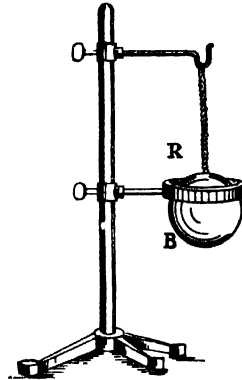



Fig. 10 (a) বল ও রিংএর পরীক্ষা Fig 10 (b)

প্রায় সমান। বলটি সামান্য উত্তপ্ত করিলেই দেখা যাইবে যে উহা আর আংটার ভিতর দিয়া যাইতেছে না কিন্তু ঠাণ্ডা হইলে পুনরায় গলিয়া যায়। ইহাতে প্রমাণিত

হয় যে উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বলটির আয়তনের বৃদ্ধি হয় এবং উষ্ণতাহ্রাসের সঙ্গে সঙ্গে বলটির আয়তনের হ্রাস হয়।

(b) ফারগুসনের পরীক্ষা (Ferguson's experiment)

P ও Q দুইটি সমান মাপের উল্লম্ব লৌহকীলক। উহাদের উপরে খাঁজকাটা। খাঁজের মধ্যে ঐ কীলকদ্বয়ের মাথায় অনুভূমিক ভাবে শায়িত একটি ধাতুদণ্ড A। A দণ্ডের এক প্রান্তে একটি স্ক্রু S চাপিয়া আছে। দণ্ডটির অপর প্রান্ত একটি লিভার (lever) H-এর ক্ষুদ্রতর বাহুর এক প্রান্তের সঙ্গে সংলগ্ন। O বিন্দুতে লিভারটির

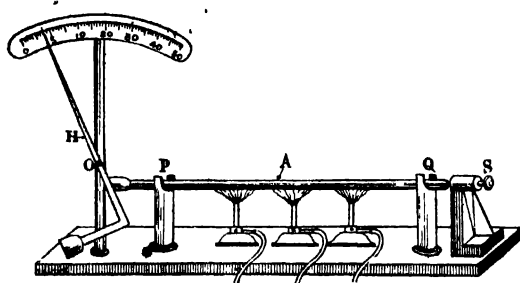



Fig 11—ফারগুসনের পরীক্ষা

আলম্ব। লিভারটির বৃহত্তর প্রান্ত একটি বৃত্তাকার স্কেলের উপর সঞ্চালিত হইতে পারে। ইহা একটি সূচকের কাজ করে। A দণ্ডটিকে উত্তপ্ত করিবার নিমিত্ত ইহার নীচে কতকগুলি বার্ণার আছে। বার্ণারগুলি জ্বালাইয়া দিলে দণ্ডটি উত্তপ্ত হয় এবং ইহার দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হয়। ডানদিকে S স্ক্রু চাপিয়া থাকায় দণ্ডটি এইদিকে বাড়িতে পারে না—বিপরীত দিকে বাড়ে এবং লিভারের ছোট বাহুর প্রান্তে ধাক্কা দেয়। ছোট বাহুর প্রান্তের সামান্য সঞ্চালনে বড় বাহুর প্রান্ত স্কেলের উপর অনেকখানি সঞ্চালিত হয়। এইরূপে দণ্ডটির সামান্য দৈর্ঘ্যবৃদ্ধিও বুঝিতে পারা যায়। দণ্ডের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি যত বেশী হইবে সূচকটি স্কেলের উপর তত বেশী সঞ্চালিত হইবে।

A দণ্ডের স্থানে একই মাপের বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড রাখিয়া দেখা যায় যে একই উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য সকল ধাতু সমপরিমাণে প্রসারিত হয় না।

(c) সংযুক্ত পাতের অবনমন (Bending of a compound strip)

12নং চিত্রে দেখ, P হাতলের সঙ্গে যুক্ত লৌহ ও পিতলের একটি সংযুক্ত পাত। একটি পিতলের পাত A ও আর একটি লৌহের পাত B একত্রে রিভেট করিয়া

সংযুক্ত পাতটি তৈয়ারী। সংযুক্ত পাতটি উত্তপ্ত করিলে উহা ধনুকের মত বাঁকিয়া যায় এবং লৌহপাতটি থাকে ধনুকের অবতল দিকে ও পিতলের পাতটি থাকে

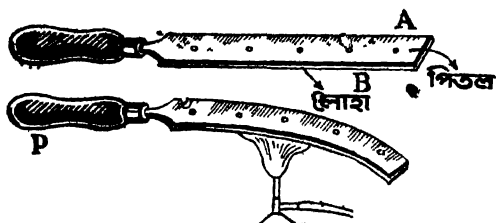



Fig. 12—সংযুক্ত পাতের অবনমন

উত্তল দিকে। এই পরীক্ষাদ্বারা তাপে লৌহ ও পিতলের অসমবৃদ্ধি এবং লৌহ অপেক্ষা পিতলের অধিকতর বৃদ্ধি প্রমাণিত হয়।

18. দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল ও আয়তন প্রসারণ

প্রত্যেক কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য আছে, প্রস্থ আছে, উচ্চতা আছে। উষ্ণতা বৃদ্ধিহেতু কঠিন পদার্থের এই তিনদিকেই প্রসারণ ঘটে। সুতরাং কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্যের যেমন প্রসারণ হয়, তেমনই ইহার তলের ক্ষেত্রফলের প্রসারণ হয় এবং সমগ্র আয়তনের প্রসারণ হয়। এই তিনরকম প্রসারণকে আমরা যথাক্রমে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ (linear expansion), ক্ষেত্রফল-প্রসারণ (superficial expansion) এবং আয়তন-প্রসারণ (cubical expansion) বলিব।

19. দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ও দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, কোনও পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণের পরিমাণ নির্ভর করে ঐ পদার্থের প্রাথমিক দৈর্ঘ্যের (initial length) উপর ও উষ্ণতাবৃদ্ধির উপর। প্রকৃতপক্ষে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ প্রাথমিক দৈর্ঘ্য ও উষ্ণতাবৃদ্ধির সমানুপাতিক। অর্থাৎ যদি কোনও দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য l_0 হয়, উষ্ণতাবৃদ্ধি $t°$C হয় তাহা হইলে

উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $\propto l_0$

এবং " $\propto t$

সুতরাং দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $\propto l_0 t$

অথবা দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $= \alpha . l_0 t$, α একটি ধ্রুবক। . . . . (A)

α-এর মান পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে বলে সেই পদার্থের **দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক**।

সমীকরণ (A) হইতে পাওয়া যায়

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{l_0} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}} \cdots\cdots (B)$$

উপরের সমীকরণ হইতে দেখা যায় প্রাথমিক দৈর্ঘ্য যদি 1 cm হয় এবং উষ্ণতাবৃদ্ধি যদি 1°C হয় তাহা হইলে

$$\alpha = \text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}।$$

সুতরাং আমরা বলিতে পারি, **কোনও পদার্থের একক দৈর্ঘ্যের একটি দণ্ডের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ হয় তাহাই ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক**। অথবা, প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য কোনও কঠিন পদার্থের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধিকে ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

উপরের সমীকরণ (B) হইতে স্পষ্টই বুঝা যায় যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের মান দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না কিন্তু উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে।

উদাহরণ – লৌহের প্রসারণ গুণাঙ্ক প্রতি এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000012 (লেখা হয় ·000012/°C) বলিলে বুঝায় 1 সে. মি. বা 1 ফুট বা 1 গজ দীর্ঘ একটি লৌহদণ্ডের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পাইলে উহার দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি হইবে ·000012 সে. মি. বা ·000012 ফুট বা ·000012 গজ।

সেন্টিগ্রেড এককে প্রসারণ গুণাঙ্কের মান হইতে আমরা ফারেনহাইট এককে প্রসারণ গুণাঙ্কের মান নির্ণয় করিতে পারি। লৌহের প্রসারণ গুণাঙ্কের কথাই ধরা যাক্।

যেহেতু $1°C = \frac{9}{5}°F$

$$\therefore \quad \cdot000012/°C = \cdot000012/\tfrac{9}{5}°F$$
$$= \cdot000012 \times \tfrac{5}{9}/°F$$
$$= \cdot000006/°F$$

অর্থাৎ লৌহের প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000006/°F.

20. দৈর্ঘ্য-প্রসারণের গুরুত্ব ও দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের প্রয়োজনীয়তা

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ধাতুসমূহের দৈর্ঘ্য-প্রসারণের গুরুত্ব খুব বেশী। বর্তমান সভ্যতায় ধাতুর ব্যবহার অত্যন্ত ব্যাপক। বড় বড় ইমারত, সেতু প্রভৃতি নির্মাণ হইতে আরম্ভ করিয়া ক্ষুদ্র-বৃহৎ যন্ত্রাদি নির্মাণে লৌহ, ইস্পাত এবং অন্যান্য বহু ধাতু ও সঙ্করধাতু (alloy) প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই ব্যবহৃত ধাতুখণ্ডসমূহের সঠিক দৈর্ঘ্য এবং দৈর্ঘ্যের সম্ভাব্য হ্রাস-বৃদ্ধি জানা প্রয়োজন হয়। প্রত্যেক ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা না থাকিলে তাহাদের সম্ভাব্য হ্রাস-বৃদ্ধির পরিমাণ গণনা করা যায় না। এজন্য দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় একটি অতি প্রয়োজনীয় কার্য। এইরূপ নির্ণয়ের বহু প্রণালী আছে। তোমরা পরীক্ষাগারে নিজেরা পরীক্ষা করিতে পার এইরূপ একটি সহজ প্রণালীর কথা আলোচনা করা হইল।

21. পুলিন্‌জার যন্ত্রের (Pullinger's apparatus) সাহায্যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়

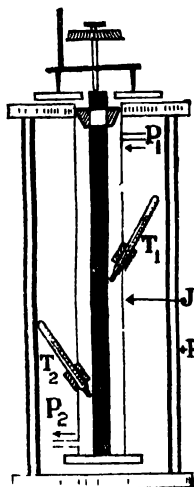



Fig 13—পুলিন্‌জার যন্ত্র

পুলিন্‌জার যন্ত্রের সাহায্যে ধাতব পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক সহজে নির্ণয় করা যায়। এই পরীক্ষার জন্য যে ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহার একটি প্রায় 1 মিটার দীর্ঘ ও 1 সে মি. ব্যাস বিশিষ্ট বেলনাকার (cylindrical) দণ্ড লইতে হয়।

যন্ত্রের বর্ণনা—13নং চিত্রে পুলিন্‌জার যন্ত্রের গঠন দেখান হইয়াছে। F ফ্রেমের সাহায্যে উল্লম্বভাবে দাঁড় করান J একটি ষ্টীম-জ্যাকেট। ইহার দৈর্ঘ্য প্রায় 1 মিটার। একটি ধাতব-নলের চারিদিকে, অ্যাজ্‌বেস্‌টস্ জাতীয় তাপের অপরিবাহী পদার্থ জড়াইয়া ষ্টীম-জ্যাকেটটি তৈয়ারী। P_1 ও P_2 দুইটি নল দ্বারা ষ্টীম-জ্যাকেটটির মধ্যে যথাক্রমে ষ্টীম প্রবেশ করে এবং বাহির হইয়া যায়। জ্যাকেটটির গায়ে দুইটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া T_1 ও T_2 দুইটি থার্মমিটার প্রবেশ করান হয়। ষ্টীম-জ্যাকেটটির নীচের দিক বন্ধ, উপরের দিক একটি রবারের ছিপি দিয়া আটকান। রবারের ছিপির মধ্যে গোলাকার ছিদ্র আছে। ধাতুর দণ্ডটি এই ছিদ্রের ভিতর দিয়া জ্যাকেটের মধ্যে ঢুকান হয়। দণ্ডের নীচের প্রান্ত একটি কাচ বা মার্বেলের

প্লেটের উপর ঠেকিয়া থাকে। উপরের প্রান্ত রবারের ছিপির ভিতর দিয়া বাহির হইয়া একটি অনুভূমিক কাচের প্লেটের মধ্যস্থলে একটি ছিদ্রের মধ্যে থাকে। তাপ পাইলে দণ্ডটি উপরের দিকে এই ছিদ্রের ভিতর দিয়া প্রসারিত হইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ প্রথমে মিটার স্কেলের সাহায্যে ধাতুদণ্ডটির দৈর্ঘ্য মাপিয়া স্টীম-জ্যাকেটের মধ্যে খাড়া করিয়া রাখা হয়। T_1 ও T_2 থার্মমিটার দুইটির পাঠ লইয়া লিখিয়া রাখা হয়। এই দুইটি থার্মমিটারের পাঠ যদি এক না হয় ইহাদের গড় (mean) পাঠকে ধাতুদণ্ডের প্রাথমিক উষ্ণতা ধরা হয়। তারপর একটি স্ফেরোমিটার কাচের প্লেটটির উপর এমন ভাবে বসান হয় যাহাতে ইহার মাঝের পা (central leg) প্লেটের ছিদ্রের ঠিক মাঝখানে থাকে। মাঝের পা'টি ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া ধাতুদণ্ডের উপরের প্রান্ত স্পর্শ করান হয় এবং ঐ অবস্থায় স্ফেরোমিটারের পাঠ লওয়া হয়। তারপর স্ফেরোমিটারের পা'টি উল্টাদিকে ঘুরাইয়া খানিকটা উঁচুতে রাখা হয় যাহাতে দণ্ডটি উপরদিকে বর্ধিত হইবার স্থান পায়। এইবার একটি বয়লার হইতে P_1 নলের ভিতর দিয়া স্টীম পাঠান হয়। খানিকক্ষণ পর পর থার্মমিটারের পাঠ লইলে দেখা যায় যে স্টীম-জ্যাকেটের ভিতরের উষ্ণতা বাড়িতেছে। অবশেষে উষ্ণতা আর বাড়ে না—এক জায়গায় স্থির থাকে। মিনিট দশেক স্থির থাকিবার পর T_1 ও T_2 থার্মমিটারের পাঠ লওয়া হয় এবং যদি উহাদের মধ্যে পার্থক্য হয় তাহা হইলে দুইটি পাঠের গড় লওয়া হয়। এই গড় পাঠকেই দণ্ডটির অন্তিম উষ্ণতা ধরা হয়। তারপর স্ফেরোমিটারের মাঝের পা'টি ঘুরাইয়া ঘুরাইয়া পুনরায় নামাইয়া দণ্ডটির উপরের প্রান্ত স্পর্শ করা হয় এবং স্ফেরোমিটারের পাঠ লওয়া হয়। স্ফেরোমিটারের প্রথম ও দ্বিতীয় পাঠের অন্তর দণ্ডটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণের সমান।

গণনা (Calculation) ঃ

ধরা যাক্—দণ্ডটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্য = l_1 সে. মি.

প্রাথমিক উষ্ণতা = t_1°C

অন্তিম উষ্ণতা = t_2°C

স্ফেরোমিটারের প্রথম পাঠ = x_1 সে. মি.

স্ফেরোমিটারের দ্বিতীয় পাঠ = x_2 সে. মি.

$$\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{x_2 - x_1}{l_1(t_2 - t_1)} /°\text{C}.$$

ক্ষেত্র-প্রসারণ ও আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক

আমরা দেখিয়াছি কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ব্যতীত ক্ষেত্র-প্রসারণ এবং আয়তন-প্রসারণও হয়। সুতরাং আমরা যেমন দৈর্ঘ্য-প্রসারণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ করিয়াছি, অনুরূপভাবে ক্ষেত্র-প্রসারণ এবং আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কেরও সংজ্ঞা নির্দেশ করিতে পারি।

22. ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক

একক ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট কোনও পদার্থের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি পাইলে উহার যে পরিমাণ ক্ষেত্রফল-প্রসারণ হয় তাহাই ঐ পদার্থের **ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক।**

অথবা,

কোনও পদার্থের তলের প্রতি এক ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের যে প্রসারণ তাহাই ঐ পদার্থের **ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক**।

যদি কোনও পদার্থের একটি তলের প্রাথমিক ক্ষেত্রফল S_0 হয়, এবং $t^\circ C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির পর ক্ষেত্রফল S_t হয়, তাহা হইলে উহার ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$\beta = \frac{S_t - S_0}{S_0 t} = \frac{\text{ক্ষেত্র-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্র} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}\,।$$

23. আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক

একক আয়তন বিশিষ্ট কোনও পদার্থের উষ্ণতা এক ডিগ্রী বৃদ্ধির ফলে যে প্রসারণ হয় তাহাই ঐ পদার্থের **আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক**।

অথবা,

প্রতি এক ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য কোনও পদার্থের প্রতি একক আয়তনের যে প্রসারণ হয় তাহাই ঐ পদার্থের **আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক**।

যদি কোনও পদার্থের প্রাথমিক আয়তন V_0 এবং $t^\circ C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির পরে আয়তন V_t হয়, তাহা হইলে উহার আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}\,।$$

24. দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক α, ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক β এবং আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক γ-এর মধ্যে সম্পর্ক

কঠিন পদার্থের তিনটি প্রসারণ গুণাঙ্ক পরস্পর নিরপেক্ষ নহে—ইহা সহজেই অনুমান করা যায়, কারণ ক্ষেত্রফলের প্রসারণ দুইদিকে দৈর্ঘ্য-প্রসারণের ফলে হয়

এবং আয়তনের প্রসারণ তিনদিকে দৈর্ঘ্য-প্রসারণের ফলে হয়। ইহা দেখান যায় যে মোটামুটিভাবে (approximately) ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের দ্বিগুণ এবং আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসাবণ গুণাঙ্কের তিনগুণ।

অর্থাৎ $\beta = 2\alpha \; .... \; (1)$

$\gamma = 3\alpha \; .... \; (2)$

(1) ও (2) সমীকরণ একত্র করিয়া আমরা লিখিতে পারি

$$2\gamma = 3\beta = 6\alpha.$$

কোনও কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে উপরোক্ত সম্বন্ধের সাহায্যে আমরা ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে পারি।

24 (*a*). β এবং α-এর সম্পর্ক

মনে কর, কোনও এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি বর্গাকৃতি প্লেটের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই 1 সে. মি.। সুতরাং ইহার ক্ষেত্রফল = 1 বর্গ সে. মি.।

মনে কর ইহার উষ্ণতা 1° বর্ধিত করা হইল।

ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে,

এখন উহার ক্ষেত্রফল হইবে $1+\beta$ বর্গ সে. মি.……. …….(1)

আবার দৈর্ঘ্য-প্রসাবণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে,

ইহার দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই হইবে $1+\alpha$ সে. মি.

$\therefore$ ইহার ক্ষেত্রফল হইবে $(1+\alpha)^2$ বর্গ সে. মি.

বা $1+2\alpha+\alpha^2$ বর্গ সে. মি.

বা $1+2\alpha$ বর্গ সে. মি.……………(2)

(α অত্যন্ত ছোট বলিয়া α^2 অগ্রাহ্য করা হইয়াছে)

$\therefore$ (1) ও (2) হইতে, $1+\beta = 1+2\alpha$

বা $\beta = 2\alpha.$

24 (b). γ এবং α-এর সম্পর্ক

মনে কর, একটি ঘনকের (cube) দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা 1 সে. মি.।
সুতরাং ইহার আয়তন = 1 ঘন সে. মি.
ইহার উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি পাইলে,
আয়তন হইবে $1+\gamma$ ঘন সে. মি.………………(1)
(আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে)
এবং প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য হইবে $1+\alpha$ সে. মি.
∴ আয়তন হইবে $(1+\alpha)^3$ ঘন সে. মি.
বা $(1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3)$ ঘন সে. মি.
বা $1+3\alpha$ ঘন সে. মি. … … … …(2)
(α অত্যন্ত ছোট বলিয়া $3\alpha^2$ ও α^3 অগ্রাহ্য করা হইয়াছে)

∴ (1) ও (2) হইতে
$1+\gamma=1+3\alpha$
বা $\gamma=3\alpha$.

25. কঠিন পদার্থের প্রসারণের কতিপয় ব্যবহারিক প্রয়োগ

কোনও কোনও ক্ষেত্রে তাপে কঠিন পদার্থের প্রসারণ আমাদের অসুবিধার সৃষ্টি করে এবং ইহার কুফল দুর করিবার জন্য উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হয়। কিন্তু আবার কোনও কোনও ক্ষেত্রে তাপে কঠিন পদার্থের প্রসারণের সুযোগ লইয়া আমরা প্রয়োজনীয় কার্য করি। নীচে দুইপ্রকার প্রয়োগেরই কতিপয় দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল।

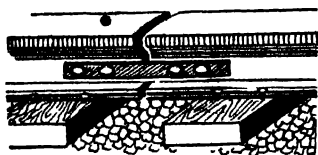
Fig 14—দুইটি রেলের জোড়ে ফাঁক

(1) রেললাইনে রেলের মাঝে মাঝে ফাঁক রাখা হয়, কারণ রাত্রিদিন এবং শীতগ্রীষ্মে উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য রেলের সঙ্কোচন-প্রসারণ হয়। ফাঁক না থাকিলে প্রসারণের ফলে রেল বাঁকিয়া যাইতে পারে।

Fig 15—সেতুর এক প্রান্তে রোলার বসান

(2) লোহার সেতু নির্মাণ করিবার সময় লোহার প্রসারণের জন্য ব্যবস্থা রাখিতে হয়। সেজন্য সেতুর দুইমুখ ইটের বাঁধের উপর দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া না দিয়া প্রসারণের সুবিধার জন্য উহার একমুখ একটি রোলারের উপর স্থাপন করা হয়।

(3) ইলেকট্রিক বাল্‌ব তৈয়ারি করিবার সময় বাল্‌বের মধ্যে ধাতুর তার ঢুকাইয়া দিবার প্রয়োজন হয়। ঢুকাইবার পর কাচ গলাইয়া তারের উপর গালার মত আটকাইয়া দিতে হয়। যদি কাচ ও তারের প্রসারণ সমান না হয় তাহা হইলে ঠাণ্ডা করিবার সময় কাচ ফাটিয়া যাইবে অথবা জোড় আল্‌গা হইয়া যাইবে। এজন্য বাল্‌ব তৈয়ারির জন্য প্লাটিনাম এবং কয়েকটি সংকর ধাতুর তার ব্যবহার করা হয়। ইহাদের প্রসারণ গুণাঙ্ক কাচের প্রসারণ গুণাঙ্কের সমান।

(4) কাচের বোতলের মুখে ছিপি আটকাইয়া গেলে বোতলের মুখ অল্প একটু গরম করিলেই ছিপি খুলিয়া যায়। গরম করিলে বোতলের মুখের পরিধি বাড়িয়া যাইবার ফলে ছিপি আল্‌গা হইয়া যায়।

(5) গরুর গাড়ির চাকায় যে লোহার বেড (tyre) থাকে তাহা ঠিক চাকার মাপে তৈয়ারী। চাকায় লাগাইবার আগে ইহাকে খুব উত্তপ্ত করা হয়। তাহাতে ইহা প্রসারিত হয় এবং চাকার উপর সহজেই বসিয়া যায়। ঠাণ্ডা করিলে ইহা সঙ্কুচিত হয় এবং চাকার উপর দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া থাকে।

(6) দোলক-ঘড়িতে ধাতুর দোলক থাকে। গ্রীষ্মকালে উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়ে এবং ফলে ঘড়ি ধীরে চলে। শীতকালে উষ্ণতাহ্রাসের জন্য দোলকের দৈর্ঘ্য কমে এবং ফলে ঘড়ি দ্রুত চলে। দোলকের দৈর্ঘ্য কমাইয়া বা বাড়াইয়া ধীরে চলা বা দ্রুত চলা বন্ধ করিবার জন্য দোলকের নীচে স্ক্রু থাকে। ঐ স্ক্রুর সাহায্যে ঘড়ি খানিকটা 'রেগুলেট' (regulate) করা যায় ; কিন্তু ভালভাবে যায় না, কারণ দোলকের দৈর্ঘ্য কতখানি বাড়াইতে হইবে বা কমাইতে হইবে তাহা বুঝিবার উপায় নাই।

(7) **প্রতিবিহিত দোলক (Compensated pendulum)**

দোলক-ঘড়ির উপরোক্ত ত্রুটি দূর করিবার জন্য কোনও কোনও ঘড়িতে **প্রতিবিহিত দোলক** ব্যবহার করা হয়। এই দোলকের বিশেষত্ব এই যে উষ্ণতার পরিবর্তনের জন্য দোলক-দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধি আপনা হইতে নিয়ন্ত্রিত হয় অর্থাৎ প্রকৃত দোলক-দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকে। বিভিন্ন রকমের প্রতি-বিহিত দোলক আছে। এখানে হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলকের কার্যপ্রণালী বুঝান হইল।

16নং চিত্রে দোলকের চিত্রটি দেখ। পাঁচটি ইস্পাতদণ্ড (গাঢ) ও চারিটি পিতলের দণ্ড (হাল্কা) পাশাপাশি সমান্তরালভাবে সাজাইয়া এই দোলক তৈয়ারী। প্রত্যেকটি দণ্ডের প্রান্ত আড়ভাবে অবস্থিত কতকগুলি ধাতুখণ্ডের সহিত এমনভাবে আটকান যে উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে ইস্পাতদণ্ডগুলি কেবল নীচের দিকে এবং পিতলের দণ্ডগুলি কেবল উপরের দিকে প্রসারিত হইতে পারে। ইস্পাতদণ্ডগুলি নীচের দিকে প্রসারিত হইলে দোলকপিণ্ড নীচের দিকে নামে এবং দোলক-দৈর্ঘ্য বাড়ে; পিতলের দণ্ডগুলি উপর দিকে প্রসারিত হইলে দোলকপিণ্ড উপরের দিকে ওঠে এবং দোলক-দৈর্ঘ্য কমে। ইস্পাত এবং পিতলের প্রসারণগুণাঙ্ক বিভিন্ন। হিসাব করিয়া প্রতিবিহিত দোলকের দণ্ডগুলির দৈর্ঘ্য এমন মাপের লওয়া হয়, যাহাতে ইস্পাত এবং পিতলের দণ্ডগুলির বিপরীতমুখী প্রসারণ সমান হয়। ফলে উষ্ণতার পরিবর্তন হইলেও দোলক-দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকে।

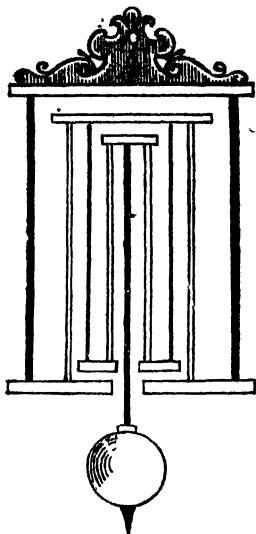



Fig 16
হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলক

(8) ইন্‌ভার নামে নিকেল ও ইস্পাতের একটি সংকর ধাতু আছে। ইহার প্রসারণগুণাঙ্ক এত কম যে উষ্ণতার পরিবর্তনের জন্য এই ধাতুদ্বারা তৈয়ারী দোলকের পরিবর্তন নগণ্য। এজন্য অনেক দোলক-ঘড়িতে ইন্‌ভারের দোলক ব্যবহার করা হয়।

(9) কঠিন পদার্থের প্রসারণ ও সঙ্কোচনের ফলে প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন হইতে পারে। নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা ইহা সুন্দরভাবে প্রমাণিত হয়—

পরীক্ষা: C ও D দুইটি ছোট খাড়া লৌহস্তম্ভ। ইহাদের মাথায় দুইটি খাঁজের ভিতর দিয়া AB ধাতুদণ্ডটি গলান। দণ্ডের A প্রান্তে একটি গোলাকার ছিদ্র (প্রায় $\frac{1}{2}''$ ব্যাস) আছে। ইহার ভিতর দিয়া একটি ছোট লৌহকীলক K ঢুকান আছে। A প্রান্তে এই কীলক এবং B প্রান্তে একটি স্ক্রু সাহায্যে

AB দণ্ডটিকে C ও D স্তম্ভদ্বয়ের ভিতরে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখা যায়। এখন AB দণ্ডের নীচে একাধিক বার্ণার রাখিয়া উত্তপ্ত করিলে ইহা প্রসারিত হইবে এবং C ও D স্তম্ভদ্বয়ের মধ্যে উহা আর দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া থাকিবে না। B প্রান্তের স্ক্রু ঘুরাইয়া পুনরায় উত্তপ্ত AB দণ্ডকে দৃঢ়ভাবে আটকান যায়। এবার

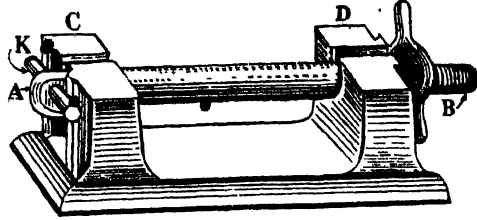



Fig 17—লৌহকীলকের ভাঙ্গন

AB শীতল হইবার সময় K কীলক ইহার সঙ্কোচনে বাধা দিবে। কিন্তু কিছুকালের মধ্যেই সঙ্কোচনের শক্তি এত প্রচণ্ড হইবে যে K কীলকটি ভাঙ্গিয়া যাইবে।

এই পরীক্ষায় ধাতুদণ্ডের সঙ্কোচন-শক্তির যে পরিচয় পাওয়া গেল তাহার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ করা যাইতে পারে।

অনেক সময় বাড়ীর দেওয়াল বাহিরের দিকে হেলিয়া গেলে এই শক্তির সাহায্যে সোজা করা যায়। লম্বা লম্বা লৌহদণ্ড বিপরীত দেওয়ালদ্বয়ের ভিতর দিয়া ঢুকাইয়া নাট, স্ক্রু ও লোহার পাতের সাহায্যে শক্ত করিয়া আটকান হয়। দণ্ডগুলি গরম করিয়া আবার স্ক্রু আঁটিয়া শক্ত করা হয়। দণ্ডগুলি শীতল হইবার সময় যখন সঙ্কুচিত হয় তখন সঙ্কোচনের টানে দেওয়ালগুলি সোজা হইয়া যায়। একবারে সোজা না হইলে এই পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করা হয়।

Worked out examples

(1) একটি ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্য 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 1 মিটার। 98° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় দণ্ডটিকে উত্তপ্ত করিলে 1·57 মিলিমিটার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ হয়। দণ্ডটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির কর।

উঃ। আমরা জানি $\alpha = \dfrac{l-l_0}{l_0 \times t}$

এক্ষেত্রে, $l_0 = 1$ মিটার $= 100$ সেন্টিমিটার

$l - l_0 = 1{\cdot}57$ মিলিমিটার $= {\cdot}157$ সেন্টিমিটার

$t = 98°C.$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{{\cdot}157}{100 \times 98} = {\cdot}000016/°C.$$

(2) 0° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় একটি লোহার দণ্ড ও একটি দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য 2 মিটার। দণ্ড দুইটিকে সমভাবে উত্তপ্ত করিয়া দেখা গেল 50° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য লোহার দণ্ডের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ·181 সেণ্টিমিটার অধিক। যদি দস্তার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ·0000298/°C হয়, তাহা হইলে লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত?

উঃ। মনে কর, 50° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় দস্তা ও লোহার দণ্ডের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l এবং l^1

সুতরাং দস্তার প্রসারণ ধরিয়া লেখা যায়,

$$l = 200(1+50\times{}^{\cdot}0000298)\cdots(1)$$

লোহার প্রসারণ ধরিয়া লেখা যায়,

$$l^1 = 200(1+50\alpha) \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

α = লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক

(1)নং ও (2)নং সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়,

$$l - l^1 = 200\times 50({}^{\cdot}0000298-\alpha)$$

বা, $\quad {}^{\cdot}181 = 200\times 50({}^{\cdot}0000298-\alpha)$

[∵ 50°C উষ্ণতায় দস্তার দৈর্ঘ্য ঐ উষ্ণতায় লোহার দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ·181 সেণ্টিমিটার অধিক]

বা, $\quad {}^{\cdot}0000298-\alpha = {}^{\cdot}0000181$

∴ $\quad \alpha = {}^{\cdot}0000117/°C.$

(3) এলাহাবাদ হইতে দিল্লীর দুরত্ব 390 মাইল। শীতকালে 36° ফারেনহাইট উষ্ণতা হইতে গ্রীষ্মকালে 117° ফারেনহাইট অবধি উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে লাইনের যে-পরিমাণ প্রসারণ হয় তাহার জন্য লাইনের মধ্যে কতটা ফাঁক রাখিতে হইবে? (লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·000012/°C)

উঃ। লাইনের মাঝে মাঝে ফাঁক রাখিতে হইবে বলিয়া লাইনের দৈর্ঘ্য 390 মাইলের কম হইবে।

সুতরাং $\quad l_1 = ?\quad , \quad l_2 = 390$

$$t_1 = 36°F,\ t_2 = 117°F$$

উষ্ণতা ফারেনহাইট স্কেলে দেওয়া আছে বলিয়া দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ফারেনহাইট স্কেলে লইতে হইবে।

$$\alpha = \cdot 000012/^\circ C = \cdot 000012 \times \tfrac{5}{9}/^\circ F$$
$$= \cdot 0000066/^\circ F$$

$\because \quad l_2 = l_1\{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$

$\therefore \quad 390 = l_1\{1 + \cdot 0000066 \times 81\}$

$\therefore \quad l_1 = \dfrac{390}{(1 + \cdot 0000066 \times 81)} = \dfrac{390}{1 \cdot 00053} = 389 \cdot 792$

$\therefore \quad l_3 - l_1 = 390 - 389 \cdot 792 = \cdot 208$ মাইল

সুতরাং লাইনের প্রসারণের জন্য ·208 মাইল ফাঁক রাখিতে হইবে।

অনুশীলনী

1. Describe a suitable experiment to demonstrate that different substances differ in their co-efficients of linear expansion.
   বিভিন্ন ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের বিভিন্নতা দেখাইবার জন্য একটি উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

2. Co-efficient of linear expansion of tin is ·000020 per °C. What is its value in Fahrenheit Scale ?
   টিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ·000020। প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে এই দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের মান কত হইবে ?

3. Define co-efficients of linear, superficial and cubical expansion. How are they related with one another ?
   দৈর্ঘ্য-প্রসারণ, ক্ষেত্র-প্রসারণ ও আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের মধ্যে পারস্পরিক সম্বন্ধ কি ?

4. Describe a Harrison's compensated pendulum. In a compensated pendulum there are five iron and four brass rods. Find the

length of each iron rod if that of each brass rod is 50 c.m. (Co-efficients of linear expansion of iron and brass are 12×10^{-6} and 19×10^{-6} per ^{0}C respectively.)

হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলক বর্ণনা কর। একটি প্রতিবিহিত দোলকে পাঁচটি লোহার দণ্ড ও চারটি পিতলের দণ্ড আছে। প্রত্যেক পিতলদণ্ডের দৈর্ঘ্য 50 সেন্টিমিটার হইলে প্রত্যেকটি লোহার দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত হইবে? (লোহা ও পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক যথাক্রমে 12×10^{-6} ও 19×10^{-6})

5. Give a few examples of the useful application of the expansion of a solid by heat

   কঠিন পদার্থের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগের কতিপয় দৃষ্টান্ত দাও।

6. Describe a laboratory method of determining the co-efficient of linear expansion of a solid. Give a sketch of the apparatus used.

   পরীক্ষাগারে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। প্রয়োজনীয় যন্ত্রের চিত্র আঁকিতে হইবে।

তৃতীয় অধ্যায়

তরল পদার্থের প্রসারণ

(Expansion of liquids)

26. কঠিন পদার্থের মত তরল পদার্থেরও প্রসারণ হয়। কিন্তু তরল পদার্থের নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য বা তল (surface) নাই, কেবল আয়তন আছে। এজন্য তরল পদার্থের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র আয়তন-প্রসারণই বিবেচ্য; দৈর্ঘ্য-প্রসারণ বা ক্ষেত্রফল-প্রসারণ বলিয়া কিছু নাই। পুনরায়, তরল পদার্থ রাখিতে আধারের প্রয়োজন এবং আধারকে গরম না করিয়া তরল পদার্থ গরম করা যায় না। এজন্য আধারের প্রসারণ বাদ দিয়া তরল পদার্থের প্রসারণ পর্যবেক্ষণ করা যায় না।

পরীক্ষাঃ একটি কাচের ফ্লাস্ক জলে ভর্তি কর। রং করিবার জন্য জলের মধ্যে খানিকটা পটাসিয়াম পারমাঙ্গানেট দিয়া দাও। ফ্লাস্কের মুখের মাপের একটি ছিপি সংগ্রহ করিয়া উহাতে ছিদ্র করিয়া একটি সরু লম্বা কাচের নল ঢুকাইয়া দাও। তারপর নলসুদ্ধ ছিপিটি ফ্লাস্কের মুখে আঁটিয়া দাও। (18নং চিত্র দেখ) দেখিবে, ফ্লাস্কের জল নলের মধ্যে কিছুদূর অবধি উঠিয়াছে। মনে কর A চিহ্ন অবধি জল উঠিয়াছে। ইতিমধ্যে একটি বড়পাত্রে (গামলা) কিছু জল গরম করিতে থাকিবে। জল গরম হইলে উহার মধ্যে ফ্লাস্কটি বসাইয়া দাও। কিছুক্ষণ বাদে দেখিবে জলের লেভেল A চিহ্ন হইতে উপরে B চিহ্ন অবধি উঠিয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায় জলের আয়তনের বৃদ্ধি হইয়াছে এবং বৃদ্ধির পরিমাণ নলের AB অংশের আয়তনের সমান।

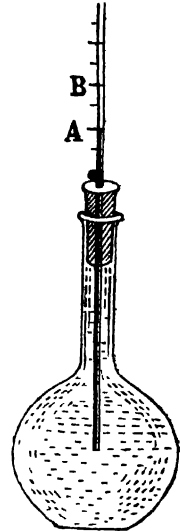



Fig. 18
তরল পদার্থের প্রসারণ

যে-কোনও তরল পদার্থ লইয়া পরীক্ষা করিলেই এইরূপ দেখা যাইবে কিন্তু সকল পদার্থের ক্ষেত্রে আয়তন-প্রসারণ সমান হইবে না।

27. তরল পদার্থের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ (Real and apparent expansion of liquids)

একটু চিন্তা করিলেই বুঝা যাইবে যে উপরের পরীক্ষায় তরলের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা প্রকৃত প্রসারণ নহে, আপাত প্রসারণ। কারণ, তাপপ্রয়োগে কেবলমাত্র ফ্লাস্কের ভিতরের তরলেরই প্রসারণ হয় না, ফ্লাস্কেরও প্রসারণ হয়। তরলের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহার প্রকৃত প্রসারণ এবং ফ্লাস্কের প্রসারণের অন্তর। তরলের প্রকৃত প্রসারণ আধারের প্রসারণ অপেক্ষা বেশী বলিয়াই আমরা তরলের আপাত প্রসারণ দেখিতে পাই। যদি ফ্লাস্কের প্রসারণ ও তরলের প্রকৃত প্রসারণ সমান হইত, তাহা হইলে আমরা কোনও আপাত প্রসারণ দেখিতে পাইতাম না এবং যদি ফ্লাস্কের প্রসারণ তরলের প্রকৃত প্রসারণ অপেক্ষা বেশী হইত, আমরা তরলের আপাত সঙ্কোচন দেখিতে পাইতাম। কারণ, শেষোক্ত ক্ষেত্রে নলের মধ্যে তরলের লেভেল উপরে না উঠিয়া নীচে নামিত। [যদি মনোযোগের সহিত লক্ষ্য করা যায় তবে উপরের পরীক্ষায় দেখা যাইবে ফ্লাস্কটি গরম জলে ডুবাইলে জলের লেভেল প্রথমে A হইতে খানিকটা নীচে নামিয়া পরে উঠিতে থাকে। ইহার কারণ, জল উত্তপ্ত হইবার পূর্বেই ফ্লাস্কটি উত্তপ্ত হয় এবং খানিকটা প্রসারিত হয়।]

উপরের আলোচনা হইতে বুঝা যায় যে, তরল পদার্থের ক্ষেত্রে আমাদিগকে দুইপ্রকার আয়তন-প্রসারণের কথা বিবেচনা করিতে হইবে—(১) আপাত প্রসারণ বা আধারের তুলনায় প্রসারণ এবং (২) প্রকৃত প্রসারণ বা আধার-নিরপেক্ষ প্রসারণ। আধারকে গরম না করিয়া আধারস্থ তরল গরম করা যায় না বলিয়া প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয় করা সহজ নহে। তবে আধারের প্রসারণ জানা থাকিলে আপাত প্রসারণ নির্ণয় করিয়া তরলের প্রকৃত প্রসারণ গণনা করা যায়। কারণ,

প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + আধারের প্রসারণ।

তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক ও প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক

(Apparent and real co-efficients of expansion of a liquid)

কঠিন পদার্থের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের মত আমরা তরলেরও আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক ও প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ করিতে পারি। বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণের তুলনার জন্য প্রসারণ গুণাঙ্কের ধারণা অত্যন্ত উপযোগী।

28. আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক

যদি কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের

$0°C$ উষ্ণতায় আয়তন $= V_0$ c.c.

এবং $t°C$ উষ্ণতায় আপাত-আয়তন $= V_t'$ হয়

তাহা হইলে আপাত-প্রসারণ $= V_t' - V_0$ c.c.

এবং আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma' = \frac{V_t' - V_0}{V_0 t}/°C \ldots (1)$

অর্থাৎ আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=$ $\frac{\text{আপাত-প্রসারণ}}{0°C \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$

সুতরাং, কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের $0°C$ উষ্ণতায় যে আয়তন, প্রতি $1°C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তাহার প্রতি এককের যে আপাত-প্রসারণ তাহাই ঐ তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক।

অথবা,

$0°C$ উষ্ণতায় একক আয়তন কোনও তরলের $1°C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য যে আপাত-প্রসারণ তাহাই ঐ তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক।

(1)নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$V_t' = V_0(1 + \gamma' t) \ldots (2)$$

29. প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক

যদি কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের

$0°C$ উষ্ণতায় আয়তন $= V_0$ c.c.

এবং $t°C$ উষ্ণতায় প্রকৃত আয়তন $= V_t$ c.c. হয়

তাহা হইলে প্রকৃত প্রসারণ $= V_t - V_0$ c.c.

এবং প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}/°C \ldots (3)$

অর্থাৎ প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=$ $\frac{\text{প্রকৃত প্রসারণ}}{0°C \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$

সুতরাং, কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের 0°C উষ্ণতায় যে আয়তন, প্রতি 1°C উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তাহার প্রতি একক আয়তনের প্রকৃত প্রসারণকে ঐ তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

অথবা, 0°C উষ্ণতায় একক আয়তন কোন তরলের 1°C উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য যে প্রকৃত প্রসারণ তাহাই ঐ তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক।

(3)নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$V_t = V_0(1+\gamma t) \quad \cdots \quad (4)$$

30. প্রকৃত ও আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক

প্রকৃত ও আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে একটি সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য আমরা একটি কল্পিত পরীক্ষার সাহায্য লইব।

মনে কর, একটি পাত্র যাহার আয়তন 0°C উষ্ণতায় 1 c.c., কানায় কানায় একটি তরল দ্বারা 0°C উষ্ণতায় ভর্তি করা হইয়াছে। আরও মনে কর,

ঐ তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=\gamma$

আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=\gamma'$

এবং ঐ পাত্রের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=\gamma_g$.

এখন ঐ পাত্র এবং তরলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিলে

তরলের প্রকৃত আয়তন হইবে $1+\gamma$ c.c.

পাত্রের আয়তন হইবে $1+\gamma_g$ c.c.

সুতরাং পাত্র হইতে উপচাইয়া পড়িবে

$$(1+\gamma)-(1+\gamma_g) \text{ c.c.} = \gamma - \gamma_g \text{ c.c.}$$

যে আয়তনের তরল উপচাইয়া পড়ে তাহাই 1 c.c. তরলের আপাত প্রসারণ γ'

$\therefore \quad \gamma' = \gamma - \gamma_g$

অথবা $\gamma = \gamma' + \gamma_g$

অর্থাৎ প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক = আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক + আধারের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক।

31 তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়—ডাইলেটোমিটার

এখানে ডাইলেটোমিটার নামক যন্ত্রের সাহায্যে তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি সহজ প্রণালী বর্ণিত হইল।

19নং চিত্রে ডাইলেটোমিটার যন্ত্রের চিত্রটি দেখ। B একটি বাল্‌ব। ইহার সহিত যুক্ত A একটি সরু সমব্যাসযুক্ত লম্বা নল। নলের গায়ে আয়তন নির্দেশক দাগ কাটা আছে। কোনও দাগ অবধি ডাইলেটোমিটারে তরল ভর্তি করিলে সেই দাগ হইতে তরলের আয়তন জানা যায়।

Fig 19
ডাইলেটোমিটার

পরীক্ষা ঃ যে তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে, ডাইলেটোমিটারের বাল্‌ব ও নলের কিয়দংশ সেই তরল দ্বারা ভর্তি কর এবং বরফগলা জলে (0°C উষ্ণতা) ডুবাইয়া রাখ। নলের গায়ে অঙ্কিত দাগ হইতে 0°C উষ্ণতায় আয়তন (V_0) নির্ণয় কর। ইহার পর ডাইলেটোমিটারটি একটি জলের পাত্রে রাখিয়া পাত্রের নীচে তাপ দিতে থাক। জলের উষ্ণতা কোনও নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (t°C) স্থির হইলে পুনরায় তরলের আয়তন (V'_t) নির্ণয় কর।

$$\gamma' = \frac{V'_t - V_0}{V_0 t}.$$

32 তাপপ্রয়োগে তরলের ঘনত্বের পরিবর্তন

কোনও নির্দিষ্ট ভরের তরলকে উষ্ণ করিলে তাহার আয়তনের পরিবর্তন হয় কিন্তু ভর একই থাকে। যেহেতু একক আয়তনের ভরকেই ঘনত্ব বলে সুতরাং উষ্ণতা বৃদ্ধিহেতু আয়তন-প্রসারণের সঙ্গে সঙ্গে তরলের ঘনত্ব কমিতে থাকে। উষ্ণতা কমিলে ঘনত্ব বাড়িতে থাকে।

মনে কর, কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের ভর $= m_0$ গ্রাম;

0°C উষ্ণতায় ইহার আয়তন ও ঘনত্ব = যথাক্রমে V_0 ঘন সে. মি. এবং d_0 গ্রাম/ঘন সে. মি.

এবং t°C উষ্ণতায় ইহার আয়তন ও ঘনত্ব = যথাক্রমে V_t ঘন সে. মি. এবং d_t গ্রাম/ঘন সে. মি.

যেহেতু, ভর = আয়তন × ঘনত্ব

$$m_0 = V_0 d_0 = V_t d_t$$

$$\frac{d_0}{d_t} = \frac{V_t}{V_0} = \frac{V_0(1+\gamma t)}{V_0} = 1+\gamma t$$

বা $d_0 = d_t(1+\gamma t)$.

বিভিন্ন উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব নির্ণয় করিয়া এই সূত্রের সাহায্যে প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

33. তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়

আধারের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে ডাইলেটোমিটার বা অন্য প্রণালীতে তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিয়া তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক গণনা করা যাইতে পারে।

কারণ, তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক γ,

আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক γ'

এবং আধারের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক γ_g হইলে

আমরা জানি $\gamma = \gamma' + \gamma_g$.

কিন্তু এই পরোক্ষ উপায় ছাড়া প্রত্যক্ষ উপায়েও তরল পদার্থের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক মাপা যায়।

34. ডুলং ও পেটিটের নিয়মে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Dulong & Petit's method of determining co-efficient of real expansion)

এই প্রণালীটি U-নলের সাহায্যে তরল পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয়ের প্রণালীর অনুরূপ (124 পৃষ্ঠা)। U-নলের দুই বাহুতে দুইটি বিভিন্ন তরলের (ঘনত্ব d_1 এবং d_2) উচ্চতা যদি h_1 এবং h_2 হয় তবে উদস্থৈতিক নিয়মানুসারে

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

ABCD একটি প্রকাণ্ড U-নল। ইহার AB ও CD বাহুদ্বয় উল্লম্ব এবং BC অংশ অনুভূমিক। বাহু দুইটি J_1 ও J_2 দুইটি কাচের চোঙ দ্বারা আবৃত।

দুইটি চোঙেরই উপর ও নীচের দিকে দুইটি ছোট নল আছে। এই নলগুলির সাহায্যে J_1 চোঙের ভিতর দিয়া স্টীম এবং J_2 চোঙের ভিতর দিয়া ঠাণ্ডা জল (বরফগলা জল) পাঠান যায়। উষ্ণতা মাপিবার জন্য দুইটি চোঙের মধ্যে দুইটি থার্মমিটার ঢুকান হয়।

প্রথমে যে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে তাহা U-নলে ঢালা হয়। এমন পরিমাণ তরল ঢালা হয় যাহাতে উভয় বাহুতেই চোঙের সামান্য উপরে তরলের লেভেল ওঠে। যতক্ষণ পর্যন্ত দুই বাহুর উষ্ণতা সমান থাকে ততক্ষণ দুই বাহুতে তরলের লেভেল একই অনুভূমিক তলে থাকে অর্থাৎ দুই বাহুতে তরলের উচ্চতা সমান থাকে। তারপর J_1 চোঙের ভিতর দিয়া স্টীম এবং J_2 চোঙের ভিতর দিয়া বরফগলা জল (উষ্ণতা 0°C) পাঠান হয়। BC বাহুর ভিতর দিয়া তাপ-সঞ্চালন বন্ধ রাখিবার জন্য ইহাকে ভিজা ব্লটিং পেপার দিয়া মুড়িয়া রাখা হয়। দুই বাহুতে উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য তরলের ঘনত্বের পার্থক্য হয় এবং ফলে দুই বাহুতে তরলের উচ্চতারও পার্থক্য দেখা যায়। অনেকক্ষণ চোঙ দুইটির ভিতর দিয়া স্টীম ও বরফলা জল পাঠাইবার পর যখন দেখা যায়, থার্মমিটার দুইটিতে পাবদসূত্র স্থির হইয়াছে তখন উহাদের উষ্ণতা মাপা হয় এবং একটি স্কেলের সাহায্যে AB বাহু এবং CD বাহুতে তরলের উচ্চতা (BC হইতে) মাপা হয়।

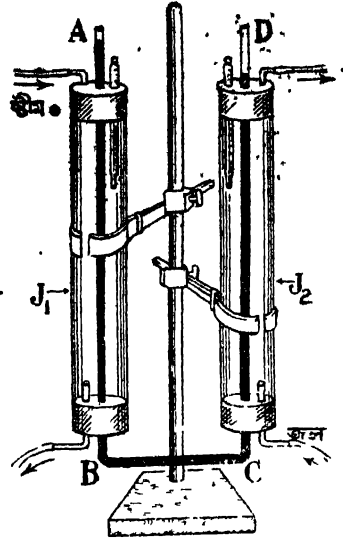



Fig 29—ডুলং ও পেটিটের যন্ত্র

ধরা যাক, AB বাহুর তরলের উষ্ণতা $= t°C$

CD বাহুর তরলের উষ্ণতা $= 0°C$

AB বাহুতে তরলের উচ্চতা $= h_t$ সে. মি.

CD বাহুতে তরলের উচ্চতা $= h_0$ সে. মি.

এবং 0°C ও t°C উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে

d_0 এবং d_t.

উপর্যুক্ত নিয়মানুসারে,

$$\frac{h_t}{h_0}=\frac{d_0}{d_t}=1+\gamma t$$

$$\therefore \quad \gamma t=\frac{h_t}{h_0}-1=\frac{h_t-h_0}{h_0}$$

$$\therefore \quad \gamma=\frac{h_t-h_0}{h_0 t}$$

অর্থাৎ প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$=\frac{\text{দুই বাহুতে তরলের উচ্চতার পার্থক্য}}{0^\circ C \text{ উষ্ণতায় তরলের উচ্চতা} \times \text{উষ্ণতর তরলস্তম্ভের উষ্ণতা}}$$

35. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ

উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত তরল পদার্থের আয়তনের বৃদ্ধি হয় এবং ঘনত্বের হ্রাস হয়, ইহাই সাধারণ নিয়ম। কিন্তু 0°C উষ্ণতা ও 4°C উষ্ণতার মধ্যে জলের ক্ষেত্রে এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। অর্থাৎ কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের উষ্ণতা যদি 0°C হইতে ক্রমশঃ বৃদ্ধি করা যায়, তবে দেখা যাইবে 4°C উষ্ণতাবৃদ্ধি অবধি ইহার আয়তন সঙ্কুচিত হইতেছে, এবং ঘনত্ব বাড়িতেছে। 4°C উষ্ণতার পরে সাধারণ নিয়মানুসারে আয়তন বাড়িতে থাকে এবং ঘনত্ব কমিতে থাকে। সুতরাং দেখা যায় 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী এবং নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম। বিপরীত দিকে, কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের উষ্ণতা যদি ক্রমশঃ কমান যায় তাহা হইলে দেখা যায় সাধারণ নিয়মানুসারে ইহার আয়তন কমিতেছে এবং ঘনত্ব বাড়িতেছে। উষ্ণতা 4°C-তে পৌঁছান অবধি এইরূপ হইবে কিন্তু তারপরেই আয়তন বাড়িতে থাকিবে এবং ঘনত্ব কমিতে থাকিবে। জলের উষ্ণতা 0°C হইলে জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করিবে এবং আয়তন আরও বাড়িয়া যাইবে।

36. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ প্রমাণের জন্য পরীক্ষা—স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটার

পূর্বে যে ডাইলেটোমিটারের কথা বলা হইয়াছে তাহার সাহায্যে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ প্রমাণ করা যায়। ইহার জন্য ডাইলেটোমিটারের বাল্বের

এক-সপ্তমাংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ করিতে হইবে। পারদের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক কাচের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের সাত গুণ। সুতরাং উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য বাল্‌বের আয়তন যতখানি বাড়িবে, ইহার মধ্যস্থ পারদের আয়তনও ততখানি বাড়িবে। ফলে ডাইলেটোমিটারের আভ্যন্তরীণ আয়তন উষ্ণতার পরিবর্তনের সহিত পরিবর্তিত হইবে না। অতএব পারদের উপরে জল ঢালিয়া যদি বাল্‌বটি ও নলের কিয়দংশ ভর্তি করা যায় এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে জলের যে প্রসারণ দেখা যাইবে তাহা প্রকৃত প্রসারণ। এইরূপ ডাইলেটোমিটারকে স্থির-আয়তন (constant volume) ডাইলেটোমিটার বলে।

Fig 21
স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটার

পরীক্ষা ঃ উপরে বর্ণিত একটি ডাইলেটোমিটার লইয়া বাল্‌ব ও নলের কিয়দংশ জলে ভর্তি কর। ডাইলেটোমিটারটি একটি পাত্রে 0°C উষ্ণতায় বরফগলা জলে খাড়াভাবে ডুবাইয়া রাখ। কিছুক্ষণের মধ্যে ডাইলেটোমিটারের জলের উষ্ণতা 0°C হইবে এবং নলের মধ্যে জলের লেভেল স্থির হইবে। নলের গায়ে অঙ্কিত স্কেলে জলের আয়তন লক্ষ্য কর। এইবার তাপ প্রয়োগ করিয়া বরফজলের উষ্ণতা ধীরে ধীরে বাড়াও। একটি থার্মমিটারের সাহায্যে উষ্ণতার বৃদ্ধি লক্ষ্য করিতে থাক এবং $\frac{1}{2}$°C অন্তর জলের লেভেল লক্ষ্য করিয়া জলের আয়তন নির্ণয় কর। উষ্ণতা 10°C হওয়া পর্যন্ত এইরূপ কর।

দেখিতে পাইবে 4°C অবধি জলের লেভেল নীচে নামে অর্থাৎ আয়তন কমে এবং তারপর আয়তন বাড়িতে থাকে।

একটি ছক তৈয়ারি করিয়া তোমাদের পরীক্ষার ফল লিপিবদ্ধ কর এবং তাহা হইতে আয়তন-উষ্ণতা লেখ (graph) অঙ্কিত কর।

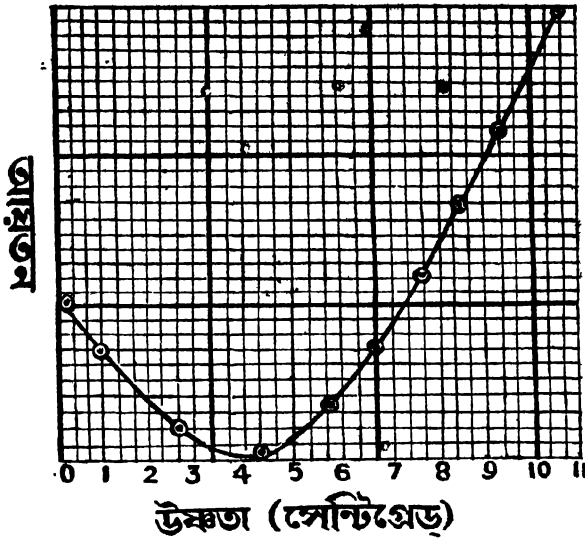



Fig. 22—আয়তন-উষ্ণতা লেখচিত্র

একগ্রাম জলের আয়তন 0°C ও 10°C উষ্ণতার মধ্যে কিভাবে পরিবর্তিত হয় তাহা উপরের আয়তন-উষ্ণতা লেখচিত্রে দেখান হইয়াছে।

37. হোপের পরীক্ষা (Hope's Experiment)

জলের ঘনত্ব 4°C উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা বেশী—ইহা হোপের পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে।

যন্ত্রের বর্ণনা : G একটি কাচের চোঙ, ইহার নীচের দিক বন্ধ ও উপরের দিক খোলা। চোঙটির মাঝামাঝি অংশ ঘিরিয়া বাহিরের দিকে একটি পাত্র (J) আছে। চোঙের উপর ও নীচের অংশে দুইটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া দুইটি থার্মমিটার T_1 ও T_2 লাগান আছে। পরীক্ষা করার জন্য G চোঙটি বিশুদ্ধ জলে ভর্তি করা হয়। ঐ জল ঠাণ্ডা করিবার জন্য J পাত্রে লবণ ও বরফ মিশ্রিত হিম মিশ্রণ (Freezing

mixture) লওয়া হয়। তারপর কিছুক্ষণ অন্তর অন্তর T_1 ও T_2 থার্মমিটার-দ্বয়ের পাঠ লওয়া হয়। দেখা যায় নীচের থার্মমিটারের পাঠ দ্রুত কমিতে থাকে এবং 4°C পর্যন্ত আসিয়া নামে। তারপর আর কমে না। উপরের T_1 থার্মমিটারের পাঠ অনেকক্ষণ প্রায় অপরিবর্তিতই থাকে। নীচের থার্মমিটারের পাঠ 4°C-তে নামিবার পর উপরের থার্মমিটারের পাঠ কমিতে কমিতে 0°C অবধি নামিয়া আসে কিন্তু নীচের থার্মমিটার 4°C উষ্ণতাতেই থাকিয়া যায়। কিছুক্ষণের মধ্যে জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু হয় এবং জলের উপর বরফ ভাসিতে থাকে।

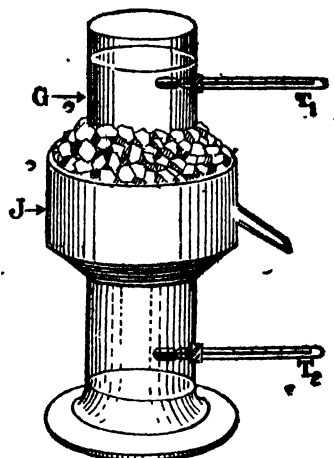



Fig 23—হোপের যন্ত্র

উপরোক্ত পর্যবেক্ষণের নিম্নলিখিত ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। হিম মিশ্রণের পাত্রটি চোঙের মাঝামাঝি স্থানে থাকায় ঐ অংশের জল আগে ঠাণ্ডা হয়। ফলে উহার ঘনত্ব বাড়ে এবং নীচের দিকে নামে। নীচের অপেক্ষাকৃত হাল্কা জল উপরে ওঠে। ঠাণ্ডা জল নীচে নামিবার ফলে T_2 থার্মমিটরের পাঠ কমিতে থাকে এবং 4°C পর্যন্ত নামে। চোঙের মাঝামাঝি স্থানের জলের উষ্ণতা 4°C-র নীচে নামিলে উহার ঘনত্ব কমিতে থাকে এবং জল নীচে না নামিয়া উপরের দিকে ওঠে। উপরের ভারী জল নীচে নামে। এইরূপ উঠানামা করার ফলে উপরের জলের উষ্ণতা 0°C-তে নামিয়া আসে। নীচের জলের উষ্ণতা তখনও 4°C থাকায় প্রমাণিত হয় যে 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

প্রসঙ্গতঃ ইহা উল্লেখ করা যাইতে পারে যে উপরের পরীক্ষায় ইহাও প্রমাণিত হয় যে 0°C-তে জল জমিয়া যখন বরফ হয় তখন উহার আয়তন বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ 0°C উষ্ণতায় বরফ জল হইতে হাল্কা। এজন্য বরফ জলে ভাসে।

৩৪. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের প্রাকৃতিক উপযোগিতা (Anomalous expansion of water and its usefulness in Nature)

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ এবং জল জমিয়া বরফ হইবার সময় আয়তন-প্রসারণ—শীতের দেশে এই দুইটি ঘটনার অত্যন্ত প্রাকৃতিক উপযোগিতা রহিয়াছে।

শীতকালে শীতের দেশে আবহাওয়ার উষ্ণতা যখন 0°C-র নীচে নামিয়া যায় তখন পুকুর, নদী প্রভৃতির উপরিভাগ জমিয়া যায় কিন্তু নীচে অপেক্ষাকৃত উষ্ণ জল থাকে। জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের জন্যই ইহা সম্ভব হয়। ঠাণ্ডা হাওয়ার সংস্পর্শে উপরের জলের উষ্ণতা কমিতে থাকিলে ঘনত্ব বাড়িতে থাকে এবং উপরের জল নীচে নামিতে থাকে। 4°C উষ্ণতা পর্যন্ত এইরূপ হয়। উপরের জলের উষ্ণতা 4°C-র নীচে নামিলে ইহার ঘনত্ব কমিতে থাকে ফলে জল আর নীচে নামে না, কারণ নীচের জলের ঘনত্ব 4°C উষ্ণতায় আরও বেশী। উপরের জলের উষ্ণতা কমিতে কমিতে 0°C হয় এবং অবশেষে উপরটা জমিয়া বরফ হয়। বরফের ঘনত্ব জল হইতে কম বলিয়া বরফ উপরে ভাসিতে থাকে—নীচে 4°C উষ্ণতায় জল থাকিয়া যায়। বরফ তাপের কুপরিবাহী বলিয়া নীচের জলের তাপ নীচেই থাকিয়া যায়। ইহাতে মাছ এবং জলের অন্যান্য প্রাণী বাঁচিয়া যায়। নতুবা যদি সমগ্র জল জমিয়া বরফ হইত তাহা হইলে সকল জলজ প্রাণী মরিয়া যাইত।

অনুশীলনী

1. Explain the difference between the expansion of a solid and that of a liquid
   Explain clearly the difference between the real expansion and apparent expansion of a liquid. Find a relation between the two.
   কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণের মধ্যে পার্থক্য কি? তরলের আপাত-প্রসারণ এবং প্রকৃত-প্রসারণ কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। উভয় প্রকার প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

2. Describe a method of determining the co-efficient of apparent expansion of a liquid.
   কোনও তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

3. Describe Dulong and Petit's method of determining the co-efficient of real expansion of a liquid.
ডুলং ও পেটিটের যন্ত্রের সাহায্যে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার প্রণালী বর্ণনা কর।
4. How does the density of a liquid change with the change of temperature ? How is this change related with the co-efficient of real expansion of the liquid.
উষ্ণতার পরিবর্তনের সহিত তরলের ঘনত্ব কিভাবে পরিবর্তিত হয় ? এই পরিবর্তনের সহিত তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক কি ?
5 What is 'anomalous expansion' of water ? Desbribe an experiment to show that the density of water is maximum at 4°C
জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায় ? জলের ঘনত্ব 4°C উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা বেশী—ইহা কি উপায়ে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় ?
6 Describe Hope's experiment What does it prove ?
'হোপের পরীক্ষা' বর্ণনা কর। ইহা দ্বারা কি প্রমাণিত হয় ?
7 Anomalous expansion of water has got a very significant utility in nature. Discuss this statement.
জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের প্রাকৃতিক উপযোগিতা পরিষ্কার করিয়া বুঝাইয়া দাও।

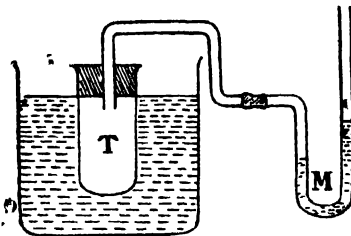
চতুর্থ অধ্যায়

গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ

39. গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণের বিশেষত্ব

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে তাপপ্রয়োগে কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণ সম্বন্ধে আলোচনা করিবার সময় আমরা উহাদের উপর প্রযুক্ত চাপ সম্বন্ধে কোনও বিবেচনা করি নাই। কারণ চাপের সামান্য হ্রাসবৃদ্ধিতে কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তনের কোনও দৃশ্য পরিবর্তন হয় না। কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন চাপের উপর বিশেষভাবে নির্ভর করে—কেবলমাত্র উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। এজন্য কোনও নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন নির্দেশ করিবার সময় উহার উষ্ণতা এবং চাপ দুই-ই নির্দেশ করা প্রয়োজন—শুধু উষ্ণতা বা শুধু চাপ নির্দেশ করিলে চলে না। যেমন, যদি বলা যায় একগ্রাম কোনও গ্যাসের আয়তন 0°C উষ্ণতায় 1000 ঘন সেন্টিমিটার, তাহা হইলে ঐ গ্যাসের অবস্থা সম্বন্ধে সঠিক ধারণা হইতে পারে না, কারণ চাপ যদি দ্বিগুণ বর্ধিত করা যায় তাহা হইলে 0°C উষ্ণতাতেই ঐ গ্যাসের আয়তন হইবে 500 c.c. (বয়েল সূত্র) অথবা চাপ যদি অর্ধেক করা যায় তবে একই উষ্ণতায় আয়তন হইবে 2000 ঘন সেন্টিমিটার। পরীক্ষার ফলে দেখা যায় তাপপ্রয়োগে উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে গ্যাসের চাপ ও আয়তন দুই-ই অথবা ইহাদের যে-কোনও একটির বৃদ্ধি হইতে পারে। কিভাবে অথবা কোন্‌টির বৃদ্ধি হইবে তাহা নির্ভর করিবে কিভাবে পরীক্ষা করা হয় তাহার উপর।

Fig 24—তাপে গ্যাসের আয়তন ও চাপ বৃদ্ধি

পরীক্ষা : একটি বড় টেস্ট-টিউব T (25—30 c.c.) একটি পাত্রে জলের মধ্যে ডুবান। T-র মুখে একটি রবারের ছিপি। এই ছিপির ভিতর একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া একটি বাঁকা নল T টেস্ট-টিউবকে জলভর্তি U-আকৃতি ম্যানোমিটার M-এর সহিত সংযুক্ত করিয়াছে। এখন পাত্রস্থ জল গরম করিলে দেখা যাইবে M ম্যানোমিটারের বদ্ধ বাহুর জলের লেভেল নীচে নামিয়া যাইতেছে এবং খোলা বাহুতে জলের

লেভেল উপরে উঠিতেছে। ইহাতে বুঝা যায়, টেস্ট-টিউবের মধ্যস্থ বায়ু উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে প্রসারিত হইয়া ম্যানোমিটারের জলকে নীচের দিকে ঠেলিতেছে। ম্যানোমিটারের দুই বাহুতে জলের লেভেলের পরিবর্তন টেস্ট-টিউবের মধ্যস্থ বায়ুর চাপের বৃদ্ধি সূচিত করে।

এই পরীক্ষায় আমরা দেখিলাম উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে গ্যাসের চাপ ও আয়তন দুইয়েরই পরিবর্তন হয়। গ্যাসীয় পদার্থের চাপ ও আয়তনের বৃদ্ধি আর একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারাও সুন্দরভাবে দেখান যায়।

পরীক্ষা ঃ F আংশিক জলভর্তি একটি ফ্লাস্ক। ইহার মুখে কর্কের ছিদ্রের ভিতর দিয়া গলান T একটি সরু কাচের নল। নলটির নিম্ন প্রান্ত জলের মধ্যে ডুবান। ফ্লাস্কটিকে গরম হাত দিয়া ধরিলে অথবা সামান্য গরম করিলেই ফ্লাস্কের উপরিভাগের বায়ু প্রসারিত হইয়া নলের মধ্যে কিছু জল ঠেলিয়া দেয়। নলের মধ্যস্থ জলস্তম্ভের জন্য যে চাপ হয়, বায়ুর চাপের সহিত তাহা যোগ করিলেই ফ্লাস্কের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ পাওয়া যায়।

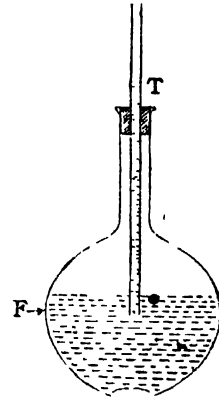



Fig 25—তাপে গ্যাসের আয়তন ও চাপ বৃদ্ধি

এই পরীক্ষাতেও আমরা দেখিলাম উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বায়ুর চাপ এবং আয়তন দুইয়েরই বৃদ্ধি হয় এবং তাপে বায়ুর প্রসারণ কঠিন ও তরলের প্রসারণ অপেক্ষা অনেক বেশী।

40. যেহেতু গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতা পরস্পরের উপর নির্ভরশীল, সুতরাং ইহাদের যে-কোনও দুইটির পরস্পর-নির্ভরতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করিতে হইলে এমনভাবে পরীক্ষা করা প্রয়োজন যাহাতে পরীক্ষাকালে তৃতীয়টি অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ পরীক্ষা দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থ সম্পর্কে নিম্নলিখিত তিনটি সম্বন্ধ আমরা নির্ণয় করিতে পারি, যথা—

(1) উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে চাপ ও আয়তনের সম্বন্ধ ;

(2) চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে উষ্ণতা ও আয়তনের সম্বন্ধ ;

(3) আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে উষ্ণতা ও চাপের সম্বন্ধ।

41. গ্যাসীয় সূত্রাবলী (Laws of gases)

(1) উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে চাপ ও আয়তনের সম্বন্ধ

এই সম্বন্ধ **বয়েল সূত্র** (Boyle's law) দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

পূর্বে আমরা বয়েল সূত্র সম্বন্ধে আলোচনা করিয়াছি। যদি কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ (ভর) গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন V হয় এবং যদি উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে তবে এই সূত্রানুসারে,

$$P \propto \frac{1}{V}$$

অথবা $PV = K$ (ধ্রুবক), যদি উষ্ণতার পরিবর্তন না হয়।

(2) চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে উষ্ণতা ও আয়তনের সম্বন্ধ

এই সম্বন্ধ যে সূত্রদ্বারা প্রকাশিত হয় তাহা **চার্ল্‌স্ সূত্র** নামে খ্যাত।

চার্ল্‌স্ সূত্র ঃ কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ (ভর) গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে প্রতি 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উহার আয়তন 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় যে আয়তন তাহার $\frac{1}{273}$ অংশ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

অর্থাৎ কোনও নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন 0°C উষ্ণতায় V_0 c.c. হইলে, উহার

1°C উষ্ণতায় আয়তন $V_1 = V_0 + \frac{V_0}{273}$ c.c.

2°C ,, ,, $V_2 = V_0 + \frac{2V_0}{273}$ c.c.

3°C ,, ,, $V_3 = V_0 + \frac{3V_0}{273}$ c.c.

t°C ,, ,, $V_t = V_0 + \frac{V_0 t}{273}$ c.c.

$$= V_0\left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$\therefore \frac{1}{273}$ বা ·00366 হইল গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক।

গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্কের সমতা

গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণের সহিত কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণের একটি প্রধান পার্থক্য এই যে, বিভিন্ন কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক বিভিন্ন; কিন্তু চার্লস্ সূত্রানুযায়ী সকল গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক সমান। সাধারণ গ্যাসসমূহের প্রসারণ গুণাঙ্ক যে মোটামুটি একই তাহা নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা সহজেই প্রতিপন্ন করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষার জন্য 39নং অনুচ্ছেদের প্রথম পরীক্ষায় ব্যবহৃত টেস্ট-টিউবের মত একটি বড় টেস্ট-টিউব লইতে হইবে। একটি রবারের ছিপিতে দুইটি ছিদ্র করিয়া টেস্ট-টিউবের মুখ আটকাইয়া 26নং চিত্রানুযায়ী যন্ত্র বিন্যাস করিতে হইবে।

দুইটি বক্রনলের সাহায্যে T টেস্ট-টিউবটি গ্যাসজার এবং একটি পিপেটের (B) সহিত সংযুক্ত। A স্টপকক খুলিয়া টেস্ট-টিউবটি গ্যাসজারে রক্ষিত যে-কোনও গ্যাসদ্বারা পূর্ণ করা যায়। B পিপেটের নীচের মুখ একটি পাত্রে (D) ঠাণ্ডা জলের মধ্যে ডুবান। C পাত্রের জল বৈদ্যুতিক উপায়ে বা অন্য উপায়ে উত্তপ্ত করা যায় এবং থার্মমিটারের সাহায্যে উহার উষ্ণতা জানা যায়। A স্টপকক বন্ধ করিয়া C পাত্রস্থ জল উত্তপ্ত করিলে টেস্ট-টিউবের মধ্যস্থ গ্যাস উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হইবে এবং পিপেটের মুখ হইতে জলের ভিতর দিয়া বুদ্বুদের আকারে নির্গত হইবে। পুনরায় ঠাণ্ডা হইলে গ্যাস সঙ্কুচিত হইবে এবং পিপেটের মধ্যে জল প্রবেশ করিবে। পিপেটের ভিতরে যতদুর অবধি জল ওঠে তাহা লক্ষ্য করিতে হইবে। বায়ু, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন প্রভৃতি যে-কোনও গ্যাস লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে **উষ্ণতাবৃদ্ধি** যদি প্রতিক্ষেত্রে সমান হয় তাহা হইলে প্রতিবারই পিপেটের মধ্যে জল **সমান** দূর অবধি উঠিবে।

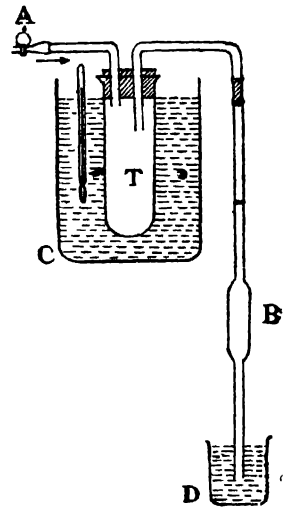



Fig 26—গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্কের সমতা

ইহাতে প্রতিপন্ন হয় যে **এইসকল গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক সমান।**

(3) **আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে গ্যাসের উষ্ণতা ও চাপের সম্বন্ধ**

এই সম্বন্ধ যে সূত্রদ্বারা প্রকাশিত হয় তাহাকে **চাপীয় সূত্র** (Law of pressure) বলে।

চাপীয় সূত্র ঃ কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ (ভর) গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে প্রতি $1°C$ উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উহার চাপ $0°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় যে চাপ তাহার $\frac{1}{273}$ অংশ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

$\frac{1}{273}$ বা ·00366-কে আমরা চাপের গুণাঙ্ক (Pressure coefficient) বলিতে পারি। দেখা যাইতেছে, গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং চাপের গুণাঙ্ক সমান।

যদি কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ $0°C$ উষ্ণতায় P_0 হয় তাহা হইলে চাপীয় সূত্র অনুসারে, $t°C$ উষ্ণতায় উহার চাপ

$$P_t = P_0\left(1 + \frac{P_0}{273}\right).$$

42. পরম উষ্ণতা ও উষ্ণতার পরম স্কেল (Absolute temperature and Absolute scale of temperature)

কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন $0°C$ উষ্ণতায় V_0 c.c. হইলে $t°C$ উষ্ণতায় উহার আয়তন

$$V_t = V_0\left(1 + \frac{t}{273}\right) \text{ c.c.}$$

$$\therefore \quad -1°C \text{ উষ্ণতায় } V_{-1} = V_0\left(1 - \frac{1}{273}\right) \text{ c.c}$$

$$-2°C \quad ,, \quad V_{-2} = V_0\left(1 - \frac{2}{273}\right) \text{ c.c.}$$

$$-273°C \quad ,, \quad V_{-273} = V_0\left(1 - \frac{273}{273}\right) \text{ c.c.}$$

$$= 0.$$

অর্থাৎ $-273°C$ অবধি যদি কোনও গ্যাসের উষ্ণতা হ্রাস করা যায় এবং ততদূর অবধি যদি চার্লস্ সূত্র সত্য হয় তাহা হইলে $-273°C$ উষ্ণতায় সকল গ্যাসের আয়তন শূন্য হইবে। $-273°C$ অপেক্ষা উষ্ণতা হ্রাস করা সম্ভব হইলে গ্যাসের আয়তন চার্লস্ সূত্রানুযায়ী শূন্যেরও কম অর্থাৎ ঋণাত্মক (negative) হইবে। ইহা কল্পনাতেও অসম্ভব। এজন্য $-273°C$ উষ্ণতাকে সর্বনিম্ন উষ্ণতা বা **পরম শূন্য** (Absolute Zero) বলা হয়।

$-273°C$-কে $0°A$ ধরিয়া এবং প্রতি ডিগ্রীকে $1°$ সেন্টিগ্রেডের সমান ধরিয়া একটি নূতন উষ্ণতার স্কেল স্থির করা হইয়াছে। এই স্কেলকে **উষ্ণতার পরম স্কেল** (Absolute scale of temperature) বলে। এই স্কেল অনুসারে প্রকাশিত উষ্ণতাকে **পরম উষ্ণতা** (Absolute temperature) বলে। যেমন,

$$0°C = 273°A = T_0$$
$$100°C = 373°A = (T_0 + 100)$$
$$t°C = (273 + t)°A = T°$$

সাধারণতঃ T অক্ষর দ্বারা এই স্কেলের যে-কোনও উষ্ণতা প্রকাশ করা হয় এবং ধরা হয় $T° = (273 + t)°$.

এই স্কেল অনুসারে বরফের গলনাঙ্ক $273°A = T_0°$

এবং জলের স্ফুটনাঙ্ক $373°A = (T_0 + 100)°$.

সুতরাং সেন্টিগ্রেড স্কেলের উষ্ণতার সহিত 273 যোগ করিয়া পরম স্কেলের উষ্ণতা পাওয়া যায় এবং পরম স্কেলে প্রকাশিত উষ্ণতা হইতে 273 বিয়োগ করিলে সেন্টিগ্রেড স্কেলে উষ্ণতা পাওয়া যায়।

43. চার্লস্ সূত্র ও চাপীয় সূত্রের অন্য রূপ :

চার্লস্ সূত্র অনুসারে, চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$
$$= V_0 \cdot \frac{273 + t}{273}$$

বা $\dfrac{V_t}{V_0} = \dfrac{273 + t}{273}$

বা $\dfrac{V_T}{V_{T_0}} = \dfrac{T}{T_0}$ বা $V \propto T$

অর্থাৎ চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন উহার পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক। ইহা চার্ল্‌স্ সূত্রের অন্য রূপ। পুনরায়, আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে

$$P_t = P_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

$$= P_0 \frac{273+t}{273}$$

বা $\frac{P_t}{P_0} = \frac{273+t}{273}$ বা $\frac{P_T}{P_{T_0}} = \frac{T}{T_0}$ বা $P \propto T$.

অর্থাৎ আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ উহার পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক।

44. গ্যাস সমীকরণ—বয়েল ও চার্ল্‌স্ সূত্রের সমন্বয়

বয়েল সূত্র ও চার্ল্‌স্ সূত্রের সমন্বয় করিয়া গ্যাসের আয়তন, চাপ ও উষ্ণতার একটি সহজ সম্বন্ধ নির্ণয় করা যাইতে পারে।

কোনও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন V, চাপ P এবং উষ্ণতা T (পরম) হইলে—

বয়েল সূত্রানুসারে,

$V \propto \frac{1}{P}$ যখন T অপরিবর্তিত থাকে

চার্ল্‌স্ সূত্রানুসারে,

$V \propto T$ যখন P অপরিবর্তিত থাকে

সুতরাং $V \propto \frac{T}{P}$ যখন P এবং T পরিবর্তিত হয়

$\therefore \quad V = R.\frac{T}{P}$, R একটি ধ্রুবক

বা $\frac{PV}{T} = R.$

যদি একই পরিমাণ গ্যাসের আয়তন ও চাপ T_1°A, T_2°A, T_3°A উষ্ণতায় যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 এবং P_1, P_2, P_3 হয়, তাহা হইলে

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_3V_3}{T_3}.$$

Worked out examples

1. চাপের পরিবর্তন না ঘটাইয়া 4000 ঘন সেণ্টিমিটার বায়ুর উষ্ণতা 30°C হইতে 180°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করা হইল। উহার আয়তন কত হইবে ?

চার্লস্ সূত্রানুসারে,

$$V_t = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

সুতরাং $$V_{30} = V_0\left(1+\frac{30}{273}\right)$$

এবং $$V_{180} = V_0\left(1+\frac{180}{273}\right)$$

সুতরাং $$\frac{V_{180}}{V_{30}}=\frac{1+\frac{180}{273}}{1+\frac{30}{273}}=\frac{453}{303}$$

$$=1\cdot5 \text{ (প্রায়)}$$

$$\therefore \quad V_{180}=V_{30}\times 1\cdot5$$
$$=4000\times 1\cdot5 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার}$$
$$=6000 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার।}$$

2. 75·5 সেণ্টিমিটার পারদচাপে 50°C উষ্ণতায় কোনও গ্যাসের আয়তন 646 ঘন সেণ্টিমিটার হইলে স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় উহার আয়তন কত হইবে ?

স্বাভাবিক চাপ P_0 = 76 সে.মি.

স্বাভাবিক উষ্ণতা T_0 = 273°A

স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় আয়তন = V_0 c.c.

গ্যাস সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{PV}{T}$$

এস্থলে $P = 75{\cdot}5$ সে. মি.

$V = 646$ ঘন সে. মি.

$\therefore\ T = (273+50)°A = 323°A$

∴ উপরোক্ত সমীকরণ অনুসারে,

$$V_0=\frac{PV}{T}\times\frac{T_0}{P_0}=\frac{75{\cdot}5\times646}{323}\times\frac{273}{76}=542{\cdot}2$$

অর্থাৎ নির্ণেয় আয়তন $= 542{\cdot}2$ ঘন সেণ্টিমিটার।

অনুশীলনী

1. In what respects does the expansion of a gas differ from that of a solid or a liquid ? Explain that the expansion of a gas due to application of heat depends upon its condition.

   গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য কি ? তাপে কোনও গ্যাসের প্রসারণের পরিমাণ নির্ভর করে উহার অবস্থার (condition) উপর—এই কথার অর্থ বুঝাইয়া দাও।

2. Define coefficient of expansion of a gas. How can you show experimentally that the coefficients of expansion of all gases are nearly equal ?

   গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক বলিতে কি বুঝায় ? সকল গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক যে মোটামুটি সমান তাহা প্রমাণ করিবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

3. State Boyle's law and Charles' law. Deduce the gas equations.

   বয়েল ও চার্লস্ সূত্র লিখ। উহাদের সমন্বয়ে 'গ্যাস সমীকরণ' নির্ণয় কর।

4. Explain clearly what is meant by 'Absolute zero' and 'Absolute scale of temperature'.

   'পরম শূন্য' এবং 'উষ্ণতার পরম স্কেল' কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও।

পঞ্চম অধ্যায়

ক্যালরিমিতি—তাপের পরিমাপন

(Calorimetry—measurement of heat)

45. তাপের পরিমাণ (Quantity of heat)

'তাপের পরিমাণ' বলিতে কি বুঝায় সে সম্বন্ধে আমাদের মোটামুটি ধারণা আছে এবং এই কথাটি আমরা পূর্বেও ব্যবহার করিয়াছি। তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য আলোচনার প্রসঙ্গে একটি পরীক্ষায় (পৃঃ 187) আমরা দেখিয়াছি একটি বীকারে 200 c.c. জল ও অন্য একটি বীকারে 400 c.c. জল লইয়া দুইটি বীকারে সমপরিমাণ তাপ দিলে—উহাদের উষ্ণতার সমপরিমাণ বৃদ্ধি হয় না। অথবা আমরা বলিতে পারি 200 c.c. জলের উষ্ণতা 1°C বাড়াইতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, 400 c.c. জলের উষ্ণতা 1°C বাড়াইতে তাহার দ্বিগুণ পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়। আবার যেমন কোনও পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় এবং উষ্ণতাবৃদ্ধির পরিমাণ তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে তেমনি কোনও পদার্থ তাপ হারাইলে উহার উষ্ণতার হ্রাস হয় এবং উষ্ণতাহ্রাসের পরিমাণ তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

আবার আমরা এই রকমও বলিতে পারি—এক পাউণ্ড কয়লা পোড়াইয়া যে পরিমাণ তাপ পাওয়া যায়, দুই পাউণ্ড কয়লা পোড়াইলে তাহার দ্বিগুণ পরিমাণ তাপ পাওয়া যায়।

কাজেই 'তাপের পরিমাণ' কথাটি কি অর্থে ব্যবহৃত হয় তাহা আমরা বুঝিতে পারি। তাপের যেহেতু পরিমাণ আছে সুতরাং ইহার পরিমাপ সম্ভব। ক্যালরিমিতি অধ্যায়ে, আমরা তাপের পরিমাপন সম্বন্ধে আলোচনা ও পরীক্ষা করিব। ইহার জন্য সর্বপ্রথম প্রয়োজন তাপের পরিমাণ প্রকাশ করিবার জন্য উপযুক্ত একক।

46. তাপের এককাবলী (Units of heat)

ক্যালরি (Calorie)—তাপের বিভিন্ন একক আছে কিন্তু বৈজ্ঞানিক মাপ-জোখের জন্য পৃথিবীর সর্বত্র যে একক ব্যবহৃত হয় তাহার নাম **ক্যালরি**। ইহা সি. জি. এস. পদ্ধতিতে তাপের একক।

একগ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে হইলে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে এক ক্যালরি বলে।

বৃটিশ থার্মাল একক (B. Th. U.) বা পাউণ্ড-ডিগ্রী ফারেনহাইট একক (Pound-degree Fahrenheit Unit)

এক পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে এক **বৃটিশ থার্মাল একক** বলে। গ্রেটবৃটেনে এই এককের প্রচলন আছে। এই একককে **পাউণ্ড-ডিগ্রী ফারেনহাইট একক**ও বলে।

থার্ম (Therm)

ইহা তাপের একটি বৃহৎ একক। গ্রেটবৃটেনে গ্যাসকোম্পানী গ্যাসের বিল (bill) করে গ্যাস হইতে যে তাপ পাওয়া যায় তাহার ভিত্তিতে এবং ইহার পরিমাপ হয় থার্মে। এক থার্ম = 100,000 বৃটিশ থার্মাল একক।

পাউণ্ড-ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড একক (Pound-degree Centigrade Unit)

এক পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে পাউণ্ড-ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড একক বলে। প্রধানতঃ এঞ্জিনিয়ারগণ এই একক ব্যবহার করেন।

বড় ক্যালরি (Major Calorie)

ইহা ক্যালরি হইতে বৃহত্তর একক। এক কিলোগ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে এক বড় ক্যালরি (Major Calorie) বলে। সুতরাং 1 বড় ক্যালরি = 1000 ক্যালরি। ইওরোপে এঞ্জিনিয়ারগণ এই একক ব্যবহার করেন। খাদ্যের তাপ পরিমাপনেও বড় ক্যালরি ব্যবহৃত হয়।

বৃটিশ থার্মাল একক ও ক্যালরির মধ্যে সম্পর্ক

যেহেতু, 1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম

এবং $1°F = \frac{5}{9}°C$,

∴ 1 বৃটিশ থার্মাল একক

= 1 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে

= 453·6 গ্রাম জলের উষ্ণতা $\frac{5}{9}°C$ বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে

= $453·6 \times \frac{5}{9}$ গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে

= $453·6 \times \frac{5}{9}$ ক্যালরি

= 252 ক্যালরি।

উদাহরণ :—

(1) 80 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 5°F বৃদ্ধি করিতে কত (*a*) বৃটিশ থার্মাল একক, (*b*) ক্যালরি প্রয়োজন হইবে ?

(*a*) নির্ণেয় তাপের পরিমাণ $= 80 \times 5$ বৃটিশ থার্মাল একক বা 400 বৃটিশ থার্মাল একক।

(*b*) 80 পাউণ্ড $= 80 \times 453{\cdot}6$ গ্রাম

$$5°F = 5 \times \tfrac{5}{9}°C$$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপের পরিমাণ $= 80 \times 453{\cdot}6 \times 5 \times \frac{5}{9}$ ক্যালরি

$= 100800$ ক্যালরি।

(2) 150 গ্রাম জলেব উষ্ণতা 60°C হইতে 50°C-এ নামিতে উহা কি পরিমাণ তাপ হারাইবে ?

এক গ্রাম জল 1 ক্যালরি তাপ হারাইলে 1°C উষ্ণতার হ্রাস হয়।

এখানে জলের পরিমাণ $= 150$ গ্রাম

উষ্ণতাহ্রাস $= 60°C - 50°C = 10°C$

সুতরাং 150 গ্রাম জল তাপ হারাইবে 150×10 বা 1500 ক্যালরি।

[আমরা সাধারণ ভাবে বলিতে পাবি m গ্রাম জলেব উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি কবিতে mt ক্যালরি তাপেব প্রয়োজন হয়। বিপরীতপক্ষে, m গ্রাম জলের উষ্ণতা t°C হ্রাস পাইলে উহা mt ক্যালরি তাপ হারায।]

(3) 20°C উষ্ণতায 50 গ্রাম জলের সহিত 60°C উষ্ণতায় 25 গ্রাম জল মিশাইলে মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে ?

এখানে ঠাণ্ডা জল গবম জলের সংস্পর্শে তাপ পাইয়া উত্তপ্ত হয় এবং গরম জল তাপ হারাইয়া ঠাণ্ডা হয়।

মনে কর, মিশ্রণের অন্তিম উষ্ণতা $= t°C$

50 গ্রাম জলের 20°C হইতে t°C উষ্ণতায় উঠিতে লাগে

$50 \times (t - 20)$ ক্যালরি

25 গ্রাম জল 60°C হইতে t°C উষ্ণতায নামিতে তাপ হারায়

$25 \times (60 - t)$ ক্যালরি

এখানে আমরা ধরিব কোনও তাপ নষ্ট হয় না ; 25 গ্রাম জল যে তাপ হারায় তাহাই 50 গ্রাম জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করে।

$\therefore \quad 50\times(t-20)=25\times(60-t)$

বা $50t-1000=1500-25t$

বা $75t=2500$

বা $t=\frac{2500}{75}°C=33·3°C.$

47. আপেক্ষিক তাপ (Specific heat)

এক গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে এক ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়। অন্য পদার্থেরও কি এক গ্রামের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে এক ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় ?

একমাত্র পরীক্ষা দ্বারা এই প্রশ্নের সমাধান হইতে পারে। তাপ পরিমাপন সংক্রান্ত পরীক্ষার জন্য ল্যাবরেটারিতে ক্যালরিমিটার নামক একপ্রকার পাত্র ব্যবহার করা হয়। ইহা চোঙাকৃতি তামার একটি পাত্র। এই পাত্র বিভিন্ন মাপের হইয়া থাকে। ইহার সহিত ঐ ধাতুরই তৈয়ারী একটি আলোড়ক (stirrer) থাকে। আলোড়ক দ্বারা ক্যালরিমিটারের ভিতরের তরল পদার্থ আলোড়ন করা বা নাড়া হয়।

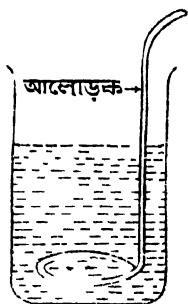



Fig 27
ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক

পরীক্ষা ঃ আলোড়ক সহ দুইটি সমান মাপের ক্যালরিমিটার লও। একটির মধ্যে মাপক সিলিণ্ডারের সাহায্যে মাপিয়া 400 c.c. (ভর = 400 গ্রাম) জল লও। অন্যটিতে 500 c.c. কেরোসিন (ঘনত্ব = ·8 গ্রাম/ঘন সে. মি.) লও। 500 c.c কেরোসিনের ভর 500 × ·8 গ্রাম = 400 গ্রাম।

জলপূর্ণ ক্যালরিমিটারে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া উহা গ্যাসবার্ণার বা স্পিরিটল্যাম্পের উপর বসাইয়া উত্তপ্ত করিতে থাক যতক্ষণ না জলের উষ্ণতা 10°C বৃদ্ধি পায়। (ঘড়ি দেখিয়া সময় নির্ণয় করিতে হইবে)। এবার কেরোসিনপূর্ণ ক্যালরিমিটারটি অনুরূপ ভাবে বার্ণার বা স্পিরিটল্যাম্পের উপর বসাও এবং একই সময় ধরিয়া তাপ দাও। দেখিবে কেরোসিনের উষ্ণতা 10°C অপেক্ষা অনেক বেশী বৃদ্ধি পাইয়াছে।

এই পরীক্ষাটি সম্বন্ধে আলোচনা করা যাক্।

400 গ্রাম জলের উষ্ণতা 10°C বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজন হয়—

400 × 10 বা 4000 ক্যালরি।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রেও 4000 ক্যালরি তাপ দেওয়া হইয়াছে, কারণ একই বার্ণার বা ল্যাম্প সমান সময় ধরিয়া তাপ দিয়াছে।

কিন্তু 4000 ক্যালরি 400 গ্রাম কেরোসিনের উষ্ণতা বৃদ্ধি করে 10°C-এর বেশী

∴ 1 ক্যালরি 1 গ্রাম কেরোসিনের উষ্ণতা বৃদ্ধি করে 1°C-এর বেশী

অর্থাৎ 1 গ্রাম কেরোসিনের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে এক ক্যালরি অপেক্ষা কম তাপের প্রয়োজন হয়। সুতরাং আমরা উপরে যে প্রশ্ন করিয়াছি তাহার উত্তর পাওয়া গেল। এক ক্যালরি তাপে সকল পদার্থের এক গ্রামের উষ্ণতা 1°C বাড়ে না। বিভিন্ন পদার্থ লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন পদার্থের এক গ্রামের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে বিভিন্ন পরিমাণের তাপ প্রয়োজন হয় এবং জল ব্যতীত অন্য সকল ক্ষেত্রেই এই পরিমাণ এক ক্যালরি অপেক্ষা কম। যে ধর্ম বা গুণের বিভিন্নতার জন্য বিভিন্ন পদার্থের তাপ সম্বন্ধে এইরূপ বিভিন্ন ব্যবহার দেখা যায় তাহার নাম আপেক্ষিক তাপ।

তাপগ্রহণ সম্বন্ধে যাহা বলা হইল বিভিন্ন পদার্থ কর্তৃক তাপবর্জন সম্বন্ধেও তাহা প্রয়োজ্য। অর্থাৎ সমপরিমাণ উষ্ণতাহ্রাসের জন্য বিভিন্ন পদার্থ বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করে। ইহাও আপেক্ষিক তাপের বিভিন্নতার জন্যই হইয়া থাকে।

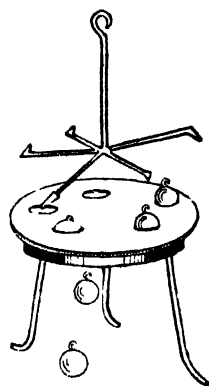



Fig 28
বিভিন্ন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের বিভিন্নতা

পরীক্ষা: সীসা, তামা, লোহা, দস্তা ও কাচের সমান ভরবিশিষ্ট পাঁচটি বল লইয়া একসঙ্গে একটি পাত্রের মধ্যে খানিকক্ষণ ফুটন্ত জলে রাখ। কিছুক্ষণের মধ্যেই সবগুলি বলের উষ্ণতা ফুটন্ত জলের উষ্ণতার সমান হইবে। তারপর একত্রে বলগুলি উঠাইয়া যথাসম্ভব শীঘ্র একটি মোমের প্লেটের উপর রাখ। দেখিবে উত্তপ্ত বলের তাপ পাইয়া মোম গলিয়া যাইবে কিন্তু বিভিন্ন বলের ক্ষেত্রে গলান মোমের

পরিমাণ বিভিন্ন হইবে। তামা এবং লোহার বল হয়তো প্লেটের ভিতর দিয়া পার হইয়া যাইবে, দস্তার বল বেশ খানিকটা ভিতরে যাইবে, সীসার বল আর একটু কম যাইবে এবং কাচের বল সামান্যই ঢুকিবে। ইহাতে বুঝা যায় যদিও বিভিন্ন বলের উষ্ণতা সমপরিমাণে হ্রাস পাইয়াছে তথাপি তাহারা বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করিয়াছে।

আপেক্ষিক তাপের দুই প্রকার **সংজ্ঞা** দেওয়া হয়।

(1) **একক ভর পরিমিত কোনও পদার্থের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ- তাপ লাগে ও সমপরিমাণ জলের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে এই দুই রাশির অনুপাতকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।**

অর্থাৎ এই সংজ্ঞানুসারে, আপেক্ষিক তাপ

$$s = \frac{\text{একক ভর পরিমিত পদার্থের উষ্ণতা } 1^\circ \text{ বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে}}{\text{একক ভর পরিমিত জলের উষ্ণতা } 1^\circ \text{ বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে}}।$$

এই ভগ্নাংশের হরের মান 1 একক তাপ (ক্যালরি বা B Th. U.) এবং লব ও হর একজাতীয় এককে প্রকাশিত। সুতরাং 's' একটি শুদ্ধ সংখ্যা, ইহার কোনও একক নাই। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, **যে সংখ্যা দ্বারা একক ভর পরিমিত কোনও পদার্থের উষ্ণতা এক ডিগ্রী বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ প্রকাশ করা হয়, তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ**। অর্থাৎ কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ 's' বলিলে আমরা বুঝিব (i) ঐ পদার্থের এক গ্রামের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে s ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় অথবা (ii) ঐ পদার্থের 1 পাউণ্ডের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে 's' B. Th. U. তাপের প্রয়োজন হয়।

(2) **একক ভর পরিমিত কোনও পদার্থের উষ্ণতা এক ডিগ্রী বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ।**

এই সংজ্ঞানুসারে আপেক্ষিক তাপ একটি শুদ্ধ সংখ্যা নহে—ইহা এককে প্রকাশিত।

প্রথম সংজ্ঞানুসারে যে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ 's', দ্বিতীয় সংজ্ঞানুসারে সেই পদার্থের আপেক্ষিক তাপ সি. জি. এস. পদ্ধতিতে s ক্যালরি প্রতি গ্রামে প্রতি

ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে (Calorie per gram per degree Centigrade) এবং বৃটিশ পদ্ধতিতে—s বৃটিশ থার্মাল একক প্রতি পাউণ্ডে প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে (B. Th.U. per pound per degree Fahrenheit)।

আমরা এই পুস্তকে আপেক্ষিক তাপের প্রথম সংজ্ঞাই গ্রহণ করিব।

48. পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি অথবা হ্রাসের জন্য গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ (Heat absorbed or given out by a substance for a rise or fall of temperature)

কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ জানা থাকিলে আমরা সেই পদার্থের নির্দিষ্ট কোনও ভরের উষ্ণতা নির্দিষ্ট পরিমাণে বৃদ্ধির জন্য কি পরিমাণ তাপ প্রয়োজন তাহা নির্ণয় করিতে পারি।

মনে কর কোনও পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s ; ঐ পদার্থের m গ্রামের উষ্ণতা t°C বাড়াইতে কি পরিমাণ তাপ লাগিবে তাহা বাহির করিতে হইবে।

ঐ পদার্থের 1 gm-এর উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজন—s ক্যালরি

∴ m gm " " " " " " —ms ক্যালরি

∴ " " " " t°C " " " —mst ক্যালরি

সুতরাং m গ্রাম পরিমিতি ঐ পদার্থ mst ক্যালরি তাপ গ্রহণ বা শোষণ করিলে উহার উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি পাইবে। ঠিক এই পরিমাণ তাপ বর্জন করিলে উহার উষ্ণতা t°C হ্রাস পাইবে। এই তাপের পরিমাণকে যদি আমরা H বলি তাহা হইলে

$$H = mst \text{ ক্যালরি।}$$

49. তাপগ্রাহিতা (Thermal capacity)

কোনও বস্তুর উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে ঐ বস্তুর তাপগ্রাহিতা বলে।

যে বস্তুর ভর m গ্রাম এবং আপেক্ষিক তাপ s তাহার তাপগ্রাহিতা ms ক্যালরি।

50. জল-সম (Water equivalent)

কোনও বস্তুর উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, সেই পরিমাণ তাপ দ্বারা যত ভরের জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি হয় সেই ভরকে উক্ত বস্তুর জল-সম বলে।

যে বস্তুর ভর m গ্রাম ও আপেক্ষিক তাপ s তাহার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজন হয় ms ক্যালরি। এখন এক ক্যালরি দ্বারা একগ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি হয়, সুতরাং ms ক্যালরি দ্বারা ms গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি হয়। সুতরাং এই বস্তুর জল-সম $= ms$ গ্রাম।

51. তাপগ্রাহিতা ও জলসম-এর পার্থক্য

উপরের দুইটি দৃষ্টান্তে আমরা দেখিতেছি, যে বস্তুর ভর m গ্রাম এবং আপেক্ষিক তাপ s তাহার

তাপগ্রাহিতা $= ms$ ক্যালরি

জলসম $= ms$ গ্রাম

অর্থাৎ তাপগ্রাহিতা ও জলসম-এর সাংখ্যমান একই $(= m \times s)$ কিন্তু উহাদের একক বিভিন্ন। তাপগ্রাহিতা প্রকাশিত হইয়াছে তাপের একক ক্যালরিতে এবং জলসম প্রকাশিত হইয়াছে ভরের একক গ্রামে।

উদাহরণ—একটি তামার ক্যালরিমিটার ও তৎসহ আলোড়কের ভর 80 গ্রাম, তামার আপেক্ষিক তাপ $= \cdot 09$. ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের তাপগ্রাহিতা ও জলসম নির্ণয় কর।

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের

তাপগ্রাহিতা $= 80 \times \cdot 09$ ক্যালরি $= 7 \cdot 2$ ক্যালরি

জলসম $= 80 \times \cdot 09 = 7 \cdot 2$ গ্রাম

52. মিশ্রণ পদ্ধতিতে জলসম ও আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

(1) মিশ্রণ পদ্ধতির মূলনীতি :

আমরা অভিজ্ঞতা হইতে জানি একটি উত্তপ্ত বস্তু A অপর একটি শীতল বস্তু B-র সংস্পর্শে আসিলে উত্তপ্ত বস্তু A তাপ বর্জন করিয়া শীতল হয় এবং শীতল বস্তু B তাপ গ্রহণ করিয়া উত্তপ্ত হয় এবং অবশেষে উভয়ের উষ্ণতা সমান হয়। যদি বাহির হইতে কোনও তাপ উহাদের মধ্যে না আসিয়া থাকে অথবা উহাদের তাপ বাহিরে না গিয়া থাকে, তাহা হইলে—

উত্তপ্ত বস্তু A কর্তৃক বর্জিত তাপ = শীতল বস্তু B কর্তৃক গৃহীত তাপ। ইহাই মিশ্রণ পদ্ধতির মূলনীতি। ক্যালরিমিতির পরীক্ষায় ক্যালরিমিটারের

ভিতরে উত্তপ্ত ও শীতল (অর্থাৎ অসম উষ্ণতার) বস্তুর মিশ্রণ ঘটান হয়, এবং যথাসম্ভব সাবধানতা অবলম্বন করা হয় যাহাতে ক্যালরিমিটার হইতে তাপ বাহিরে যাইতে না পারে অথবা বাহির হইতে ক্যালরিমিটারে তাপ প্রবেশ না করিতে পারে। এজন্য উপরোক্ত নীতিকে **ক্যালরিমিতির মূলনীতি**ও বলা যায়।

(2) একটি ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জলসম নির্ণয় করিতে হইবে।

পরীক্ষা: ক্যালরিমিটারটি ভাল করিয়া ধুইয়া পরিষ্কার কর এবং শুষ্ক করিয়া আলোড়কসহ ইহার ওজন লও। ক্যালরিমিটারের অর্ধেক জলপূর্ণ করিয়া পুনরায় ওজন লও। প্রথম ও দ্বিতীয় ওজনের পার্থক্য হইতে জলের ভর পাওয়া যাইবে। একটি স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ক্যালরিমিটারের মধ্যে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া জলের উষ্ণতা দেখ। একটি পৃথক পাত্রে খানিকটা জল গরম কর। গরম জলের উষ্ণতা ঠাণ্ডা জল অপেক্ষা 10°C হইতে 15°C বেশী হইলে একটি থার্মমিটারের সাহায্যে উষ্ণতা মাপিয়া তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারে ঢাল এবং আলোড়কের সাহায্যে নাড়িতে থাক। (গরম জল ঢালিয়া ক্যালরিমিটারের প্রায় $\frac{3}{4}$ অংশ ভর্তি করিবে)। সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটারে ডুবান থার্মমিটারের পারদসূত্রটি লক্ষ্য কর। দেখিবে উষ্ণতা ক্রমশঃ বাড়িয়া এক জায়গায় স্থির হইয়াছে। ঐ অন্তিম (final) উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। ক্যালমিটারটি ঠাণ্ডা হইলে পুনরায় উহার ওজন লও। এই তৃতীয় ওজন ও দ্বিতীয় ওজনের পার্থক্য হইতে গবম জলের ভর পাওয়া যাইবে।

পর্যবেক্ষণের ফল নিম্নরূপ একটি ছক তৈরি করিয়া তাহাতে সন্নিবিষ্ট কর অথবা পর পর সাজাইয়া লিখ।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আলোড়ক সহ ক্যালরিমিটারের ভর	জল সহ ক্যালবিমিটারের ভর	গরম জল মিশ্রিত ক্যালবিমিটাবের ভর	ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা	গরম জলের উষ্ণতা	অন্তিম উষ্ণতা
1	m_1	m_2	m_3	t_1°C	t_2°C	t°C

অথবা,

আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারের ভর $= m_1$ গ্রাম
জল সহ ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের ভর $= m_2$ গ্রাম
গরম জল মিশ্রিত ক্যালরিমিটারের ভর $= m_3$ গ্রাম
ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা $= t_1$°C
গরম জলের উষ্ণতা $= t_2$°C
মিশ্রণের অন্তিম উষ্ণতা $= t$°C

গণনা—

ঠাণ্ডা জলের ভর $= m_2 - m_1$ গ্রাম
গরম জলের ভর $= m_3 - m_2$ গ্রাম
ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের উষ্ণতাবৃদ্ধি $= (t - t_1)$°C
ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি $= (t - t_1)$°C
গরম জলের উষ্ণতাহ্রাস $= (t_2 - t)$°C

মনে কর, ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জলসম = W গ্রাম

$\therefore$ $(t - t_1)$°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$ ক্যালরি

এবং ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (m_2 - m_1)(t - t_1)$ ক্যালরি

$\therefore$ ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডা জল কর্তৃক মোট গৃহীত তাপ $= (W + m_2 - m_1)(t - t_1)$ ক্যালরি

$(t_2 - t)$°C উষ্ণতা হ্রাসের জন্য গরম জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= (m_3 - m_2)(t_2 - t)$ ক্যালরি

যেহেতু, ক্যালরিমিতির মূলনীতি অনুযায়ী

গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad (W + m_2 - m_1)(t - t_1) = (m_3 - m_2)(t_2 - t)$$

বা $$W = \frac{(m_3 - m_2)(t_2 - t)}{t - t_1} - (m_2 - m_1) \text{ গ্রাম।}$$

মন্তব্য ঃ বিশেষ সাবধানতা অবলম্বন না করিলে বাহিরের সহিত তাপ-বিনিময় বন্ধ করা যায় না। তাপ-বিনিময় কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটারটিকে আর একটি পাত্রের ভিতর রাখিয়া তুলা বা ফেল্ট-জাতীয় পদার্থ দ্বারা ঘিরিয়া রাখা উচিত। ক্যালরিমিটারটি চক্‌চকে পালিশ করিলেও তাপ-বিনিময় হ্রাস পায়।

উদাহরণ :—

45°C উষ্ণতায় 35 গ্রাম জল 20°C উষ্ণতায় একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে 40 গ্রাম জলের মধ্যে ঢালাতে মিশ্রণের উষ্ণতা 25°C হইল। ক্যালরিমিটারের জলসম কত ?

মনে করা যাক ক্যালরিমিটারের জলসম = W গ্রাম

উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= 35 \times (45 - 25)$ ক্যালরি

$= 35 \times 20$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= (W + 40)(25 - 20)$ ক্যালরি

$= (W + 40) \times 5$ ক্যালরি

যেহেতু, ক্যালরিমিতির নীতি অনুযায়ী

গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$\therefore \quad (W + 40) \times 5 = 35 \times 20$

বা $\quad W = 100$

অর্থাৎ নির্ণেয় জলসম = 100 গ্রাম।

(3) মিশ্রণ পদ্ধতিতে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

মনে কর, এক টুকরা মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইবে।

পরীক্ষা : একটি ক্যালরিমিটার ভাল করিয়া ধুইয়া পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া আলোড়ক সহ ওজন কর। ক্যালরিমিটারের $\frac{2}{3}$ অংশ অবধি জলপূর্ণ করিয়া পুনরায় ওজন লও। প্রথম ও দ্বিতীয় ওজনের পার্থক্য হইতে জলের ওজন জানা যায়। মার্বেলের টুকরাটির ওজন লও। তারপর একটি বীকারে জল ফুটাইতে থাক এবং মার্বেলের টুকরাটি একটি সুতায় বাঁধিয়া তাহার মধ্যে ঝুলাইয়া রাখ। ক্যালরিমিটারের জলে একটি স্ট্যাণ্ড ও ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া জলের উষ্ণতা লও। বীকারে ফুটন্ত জলের উষ্ণতা প্রায় দশ মিনিট ধরিয়া স্থির থাকিবার পর (থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখিতে হইবে) মার্বেলের টুকরাটি তাড়াতাড়ি উঠাইয়া ক্যালরিমিটারের মধ্যে ছাড়িয়া দাও। সাবধানে ছাড়িবে যেন জল না ছিটাইয়া ওঠে। আলোড়কটি নাড়িতে থাক এবং থার্মমিটারে অন্তিম উষ্ণতাবৃদ্ধি লক্ষ্য কর। পর্যবেক্ষণের ফল সাজাইয়া লিখ।

পর্যবেক্ষণের ফল (data):—

আলোড়ক সহ ক্যালরিমিটারের ভর $= m_1$ গ্রাম

জল সহ আলোড়ক ও ক্যালরিমিটারের ভর $= m_2$ গ্রাম

মার্বেলের ভর $= m$ গ্রাম

ক্যালরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_1°C$

গরম মার্বেলের প্রাথমিক উষ্ণতা

(অর্থাৎ ফুটন্ত জলের উষ্ণতা) $= t_2°C$

ক্যালরিমিটার ও আভ্যন্তরীণ পদার্থের অন্তিম উষ্ণতা $= t°C$

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জলসম $= W$ গ্রাম

[জলসম জানা না থাকিলে পৃথক পরীক্ষা দ্বারা নির্ণয় করিতে হইবে অথবা ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ জানা থাকিলে তাহা দ্বারা m_1কে গুণ করিলে জলসম পাওয়া যাইবে।]

গণনা—

মনে কর, মার্বেলের নির্ণেয় আপেক্ষিক তাপ $= s$

ঠাণ্ডা জলের ভর $= m_2 - m_1$ গ্রাম

ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি $= (t - t_1)°C$

মার্বেলের উষ্ণতাহ্রাস $= (t_2 - t)°C$

$(t - t_1)°C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= W(t - t_1)$ ক্যালরি

$(t - t_1)°C$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= (m_2 - m_1)(t - t_1)$ ক্যালরি

$(t_2 - t)°C$ উষ্ণতাহ্রাসের জন্য মার্বেল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= ms(t_2 - t)$ ক্যালরি

যেহেতু,

মোট বর্জিত তাপ = মোট গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad ms(t_2 - t) = W(t - t_1) + (m_2 - m_1)(t - t_1)$$

$$= (W + m_2 - m_1)(t - t_1)$$

$$\therefore \quad s = \frac{(W + m_2 - m_1)(t - t_1)}{m(t_2 - t)}.$$

মন্তব্য : বাহিরের সহিত তাপ-বিনিময় যথাসম্ভব কমাইবার নিমিত্ত ক্যালরিমিটারটি ফেল্ট বা তুলা পরিবেষ্টিত আর একটি পাত্রের মধ্যে রাখা উচিত। গরম মার্বেলটির সহিত কয়েক ফোঁটা জলও ক্যালরিমিটারে যায় এবং বীকার হইতে ক্যালরিমিটারে যাইবার পথে মার্বেলের কিছু তাপ বাহিরে চলিয়া যায়। এজন্য উপরোক্ত উপায়ে নির্ণীত আপেক্ষিক তাপের মান নির্ভুল (accurate) হয় না। আরও নির্ভুলভাবে আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইলে উল্লিখিত ত্রুটিগুলি দূর করিবার ব্যবস্থা করিতে হয়।

53. রেগ্ণোর ক্যালরিমিটার (Regnault's Calorimeter)

29নং চিত্র হইতে রেগ্ণোর ক্যালরিমিটারের গঠন ও কার্য বুঝা যাইবে। এই যন্ত্রের প্রধান বিশেষত্ব ইহার স্টীম-হিটার (steam-heater) S। ইহার ভিতরে কোন বস্তুকে স্টীমের সংস্পর্শে না আনিয়াও স্টীমের উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা যায়। দুইটি এক-অক্ষীয় (co-axial) ধাতব চোঙ দ্বারা ইহা তৈয়ারী। ভিতরের চোঙের নীচের দিকে একটি কাঠের ঢাকনা আছে। ঢাকনাটি ইচ্ছামত সরাইয়া মুখ খোলা যায়। চোঙের উপর দিক কর্কের ছিপি দিয়া আটকান। যে বস্তুটিকে উত্তপ্ত করিতে হইবে সূতায় বাঁধিয়া সেটিকে ছিপির ভিতর দিয়া ঝুলান হয় এবং একটি থার্মমিটার প্রবেশ করান হয়। দুইটি চোঙের ভিতরে ফাঁকা স্থানের ভিতর দিয়া স্টীম প্রেরণ করিবার জন্য আগম ও নির্গমনের দুইটি নল আছে। অনেকক্ষণ স্টীম যাইবার পর ভিতরের প্রকোষ্ঠের বস্তুটি স্টীমের সম-উষ্ণ হইয়া উঠে। থার্মমিটারে পারদসূত্র তখন স্থির হইয়া থাকে।

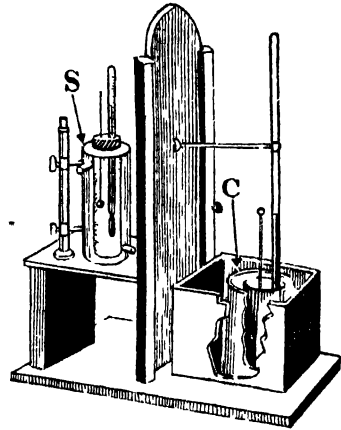



Fig 29—রেগ্ণোর ক্যালরিমিটার

C ক্যালরিমিটারটি ফেল্টদ্বারা পরিবেষ্টিত কাঠের বাক্সের মধ্যে অবস্থিত। স্টীম-হিটারের তাপ যাহাতে ক্যালরিমিটারে না যায় তজ্জন্য একটি কাঠের পার্টিশন আছে। স্টীম-হিটারের মধ্যে বস্তুটি উত্তপ্ত হইলে কাঠের পার্টিশনটি উঠাইয়া বাক্সসুদ্ধ ক্যালরিমিটারটি স্টীম-হিটারের নীচে তাড়াতাড়ি আনিবার ব্যবস্থা আছে।

আনিয়াই নীচের ঢাকনা খুলিয়া সুতাটি কাটিয়া দিলে বস্তুটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে পড়িয়া যায়। সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটারকে স্বস্থানে টানিয়া লইয়া পার্টিশন ফেলিয়া দেওয়া হয় এবং থার্মমিটারে ক্যালরিমিটারের উষ্ণতাবৃদ্ধি লক্ষ্য করা হয়। সব কাজই অত্যন্ত ক্ষিপ্রতার সহিত করিতে পারিলে পূর্ববর্ণিত ত্রুটিগুলি অনেকাংশে দূরীভূত হয়।

54. মিশ্রণ পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিবার প্রণালী কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের প্রণালীর অনুরূপ। কেবলমাত্র ক্যালরিমিটারে জলের পরিবর্তে যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে হইবে তাহা লইতে হইবে, এবং উত্তপ্ত করিবার নিমিত্ত এমন একটি কঠিন বস্তু লইতে হইবে, যাহার আপেক্ষিক তাপ জানা আছে।

আপেক্ষিক তাপ গণনার প্রণালী নিম্নে দেওয়া হইল।

মনে কর,

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জলসম $= W$ গ্রাম

তরলের ভর $= m$ গ্রাম

কঠিন বস্তুর ভর $= m'$ গ্রাম

ক্যালরিমিটার ও তরলের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_1$°C

উত্তপ্ত কঠিন বস্তুর প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_2$°C

ক্যালরিমিটার ও আভ্যন্তরীণ পদার্থের অন্তিম উষ্ণতা $= t$°C

কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ $= s'$

তরলের নির্ণেয় আপেক্ষিক তাপ $= s$

$(t-t_1)$°C উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= W(t-t_1)$ ক্যালরি

$(t-t_1)$°C উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তরল পদার্থ কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= ms(t-t_1)$ ক্যালরি

উত্তপ্ত কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= m's'(t_2-t)$ ক্যালরি

যেহেতু,

মোট গৃহীত তাপ = মোট বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad (W+ms)(t-t_1)=m's'(t_2-t)$$

বা $$W+ms=\frac{m's'(t_2-t)}{t-t_1}$$

$$\therefore \quad s=\frac{m's'(t_2-t)}{m(t-t_1)}-\frac{W}{m}.$$

55. আপেক্ষিক তাপের তালিকা

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
অ্যালুমিনিয়ম	0·21	জল	1·00
তাম্র	0·09	কেরোসিন	0·51
স্বর্ণ	0·03	মেথিলেটেড স্পিরিট	0·55
রৌপ্য	0·06	কোহল	0·58
লৌহ	0·11	তারপিন	0·42
সীসা	0·03	গ্লিসারিন	0·58
প্ল্যাটিনাম	0·03		

অনুশীলনী

1. Define—Calorie, British thermal unit, Therm. What is a big calorie ?
   সংজ্ঞা লিখ—ক্যালরি, বৃটিশ থার্মাল একক, থার্ম। বড় ক্যালরি কি ?
2. 'Specific heat of copper is 09'—explain
   'তামার আপেক্ষিক তাপ 09'—এই উক্তিটি বিশদভাবে ব্যাখ্যা কর।
3. Distinguish between thermal capacity and water-equivalent How will you determine the water-equivalent of a calorimeter ?
   তাপগ্রাহিতা ও জলসমের মধ্যে পার্থক্য কি ? একটি ক্যালরিমিটারের জলসম কি ভাবে নির্ণয় করিবে ?
4. Describe, in detail, an experiment to determine the specific heat of a piece of marble.
   এক টুকরা মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিবার জন্য একটি পরীক্ষা বিশদভাবে বর্ণনা কর।

5. **Explain the principle underlying the determination of the specific heat of a substance by the method of mixture.**
মিশ্রণ পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের মূলনীতিটি বুঝাইয়া দাও।

6. Describe a simple experiment to show that different substances have different specific heats.
বিভিন্ন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের বিভিন্নত্ব প্রদর্শনের জন্য একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর।

7. What is the resulting temperature when 50 gm. water at 60°C is poured into 100 gm. water at 15°C ? [Ans. 30°C]
60° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 50° গ্রাম জল 15° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 100 গ্রাম জলের মধ্যে ঢালিয়া দিলে মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে ?

8. Mass of a copper calorimeter with the stirrer is 85 gm. What is its water-equivalent if the specific heat of copper is ·09 ?
[Ans. 7·65 gm.]
আলোড়ক সহ একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 85 গ্রাম। তামার আপেক্ষিক তাপ ·09 হইলে আলোড়ক সহ ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় কর।

9. The resulting temperature on mixing 100 gm. water at 50°C with 110 gm. water at 20°C in a calorimeter is 30°C. Find the water-equivalent of the calorimeter. [Ans. 90 gm.]
50° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 100 গ্রাম জল 20° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় একটি ক্যালরিমিটারে রক্ষিত 110 গ্রাম জলে ঢালিবার ফলে মিশ্রণের উষ্ণতা 30° সেণ্টিগ্রেড হইল। ক্যালরিমিটারের জলসম কত ?

10. A 200 gm. lead ball is dropped from a furnace directly into 100 gm. water at 25°C. Find the temperature of the furnace if the final maximum temperature after mixing be 40°C. (sp ht. of lead = ·03) [Ans. 290°C]
200 গ্রাম ভর বিশিষ্ট একটি সীসার বলকে একটি চুল্লী হইতে 25° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতার 100 গ্রাম জলের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। যদি মিশ্রণের উষ্ণতা 40° সেণ্টিগ্রেড হয় তাহা হইলে চুল্লীর উষ্ণতা নির্ণয় কর। (সীসার আপেক্ষিক তাপ = ·03)

11. 40 gm. iron at 100°C is dropped into 100 gm water at 20°C. The resulting temperature of water after stirring becomes 23·5°C. Find the specific heat of iron. [Ans. ·11]
100° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 40 গ্রাম লোহা 20° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 100 গ্রাম জলে ফেলিয়া দেওয়ায় মিশ্রণের উষ্ণতা 23·5° সেণ্টিগ্রেড অবধি উঠিল। লোহার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

ষষ্ঠ অধ্যায়

অবস্থার পরিবর্তন (গলন—বাষ্পীভবন—স্ফুটন) লীনতাপ

[Change of state (melting—evaporation—boiling) ; latent heat

56. কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়—পদার্থের এই তিন অবস্থা। পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন ঘটান তাপের অন্যতম কার্য। অধিকাংশ কঠিন পদার্থ তাপপ্রয়োগে প্রথমে তরল হয়, তারপর অধিকতর তাপপ্রয়োগে গ্যাসীয় অবস্থা প্রাপ্ত হয়। পক্ষান্তরে গ্যাসীয় পদার্থ তাপ বর্জন করিয়া তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয় এবং তরল পদার্থ তাপ বর্জন করিয়া কঠিন হয়। আমরা বর্তমান অধ্যায়ে অবস্থার পরিবর্তনের সহিত উষ্ণতা, চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বিষয়ে আলোচনা ও পরীক্ষা করিব।

57. গলন (Melting) ও কঠিনীভবন (Freezing)

কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থা প্রাপ্তির নাম গলন ও তরল অবস্থা হইতে কঠিন হওয়ার নাম কঠিনীভবন।

পরীক্ষা ঃ একটি বীকারে প্রায় ভর্তি করিয়া বরফের টুকরা লও এবং বীকারটি একটি ত্রিপদ স্ট্যাণ্ডের উপর জালক তারের (wire gauge) উপর বসাইয়া দাও। স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে একটি থার্মমিটার বরফের মধ্যে খাড়াভাবে রাখ। থার্মমিটারে দেখ উষ্ণতা 0°C। বীকারের নীচে তাপ দিতে থাক এবং পরিবর্তন লক্ষ্য কর। দেখিবে, বরফ গলিতে আরম্ভ করিয়াছে কিন্তু উষ্ণতার কোনও পরিবর্তন নাই। যখন সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবে তখন উষ্ণতার বৃদ্ধি আরম্ভ হইবে।

তাপপ্রয়োগে পদার্থের উষ্ণতার বৃদ্ধি হয়—এই সাধারণ নিয়মের এখানে আমরা ব্যতিক্রম দেখি। তবে যে তাপ দেওয়া হইল তাহা কোথায় গেল ? স্পষ্টই দেখা যায় যতক্ষণ সমস্ত বরফ না গলিয়াছে ততক্ষণ পর্যন্ত প্রযুক্ত তাপ সম্পূর্ণরূপে বরফগলান কার্যে, অর্থাৎ অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে ব্যয়িত হইয়াছে। উষ্ণতাবৃদ্ধিতে

এই তাপের প্রকাশ হয় না—ইহা যেন লুকায়িত থাকিয়া অবস্থার পরিবর্তন ঘটায়। এজন্য এই তাপকে লীনতাপ (Latent heat) বলে।

অধিকাংশ কঠিন পদার্থ লইয়া পরীক্ষা করিলেই অনুরূপ ঘটনা দেখা যাইবে। প্রথমতঃ তাপপ্রয়োগ করিলে উষ্ণতা বাড়ে, আর উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছিলে (এই মান বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে বিভিন্ন) পদার্থ গলিতে শুরু করে এবং সমস্ত পদার্থ না গলা পর্যন্ত উষ্ণতা আর বাড়ে না। এই উষ্ণতাকে ঐ পদার্থের **গলনাঙ্ক** বলে। সুতরাং অধিকাংশ পদার্থের একটি নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক আছে এবং নির্দিষ্ট লীনতাপ আছে। লীনতাপের পরিমাণ পদার্থের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

লীনতাপের সংজ্ঞা

উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটাইয়া একগ্রাম পরিমিত কোনও পদার্থকে কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তরিত করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের **গলনের লীনতাপ** (Latent heat of fusion) বলে।

গলনাঙ্কের সংজ্ঞা

অধিকাংশ কঠিন পদার্থ নির্দিষ্ট চাপে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গলিতে শুরু করে এবং যতক্ষণ না সমগ্র পদার্থ গলিয়া যায় ততক্ষণ এই উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না। এই উষ্ণতাকে **গলনাঙ্ক** (Melting point) বলে।

কঠিনীভবন—হিমাঙ্ক

কোনও তরল পদার্থকে স্বাভাবিক চাপে ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে উষ্ণতা যখন একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায় তখন উহা জমিতে শুরু করে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত সমগ্র তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন না হয়, ততক্ষণ পর্যন্ত উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না। এই উষ্ণতাকে **হিমাঙ্ক** (Freezing point) বলে এবং এই ঘটনাকে (process) **কঠিনীভবন** (freezing) বলে। একই পদার্থের গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক একই। যেমন বরফ 0°C উষ্ণতায় গলিয়া জল হয় এবং জল 0°C উষ্ণতায় জমিয়া বরফ হয়। সুতরাং বরফের গলনাঙ্ক এবং জলের হিমাঙ্ক একই। বরফ ও জল একই পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা।

আবার একগ্রাম বরফ 0°C উষ্ণতায় জলে পরিণত হইতে যে পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে, একগ্রাম জল 0°C উষ্ণতায় জমিয়া বরফ হইবার সময় সেই পরিমাণ তাপ বর্জন করে।

অন্যান্য পদার্থের ক্ষেত্রেও অনুরূপ ব্যাপার ঘটে। অর্থাৎ গলন কালে পদার্থ যে লীনতাপ গ্রহণ করে, কঠিনীভবন কালে সেই লীনতাপ বর্জন করে।

58. বরফ গলনের লীনতাপ নির্ণয় (Determination of the latent heat of fusion of ice)

মিশ্রণ পদ্ধতিতে বরফ গলনের লীনতাপ নির্ণয় করা যায়। এই পরীক্ষার জন্য একটি ছোট ক্যালরিমিটার ও পাতলা জাল (wire gauge) দেওয়া আলোড়ক লইতে হইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি ক্যালরিমিটার পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া আলোড়ক সহ ওজন কর। ক্যালরিমিটারের প্রায় ⅔ অংশ জলপূর্ণ করিয়া পুনরায় ওজন কর। প্রথম ও দ্বিতীয় ওজনের পার্থক্য হইতে জলের ওজন পাওয়া যাইবে। (মাপক সিলিণ্ডারের সাহায্যে ক্যালরিমিটারে জল ঢালিলে আয়তনের মাপ হইতেই জলের ওজন জানা যায়—দ্বিতীয়বার ওজন করিবার দরকার হয় না)। জলপূর্ণ ক্যালরিমিটারটি একটি ফেল্ট-পরিবেষ্টিত কাঠের বাক্সে রাখিয়া ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি থার্মমিটার জলের মধ্যে খাড়াভাবে ডুবাইয়া রাখ এবং জলের প্রাথমিক উষ্ণতার পাঠ লও। তারপর ছোট ছোট কয়েক টুকরা বরফ ব্লটিং-পেপার দ্বারা শুষ্ক করিয়া তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারের জলে ফেলিয়া দাও এবং আলোড়ক দ্বারা ধীরে ধীরে নাড়। আলোড়কের জাল দ্বারা বরফের টুকরাগুলিকে চাপিয়া রাখিবে যেন জলের উপরে ভাসিয়া না ওঠে। লক্ষ্য কর, বরফ গলিবার সঙ্গে সঙ্গে জলের উষ্ণতা কমিতেছে। যখন সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবে তখন উষ্ণতা সর্বনিম্ন হইবে। এই সর্বনিম্ন উষ্ণতার পাঠ লও। কিছুকাল পরে জলের উষ্ণতা বাড়িয়া যখন ঘরের উষ্ণতার সমান হইবে তখন ক্যালরিমিটার পুনরায় ওজন কর। দ্বিতীয় ওজন হইতে এই ওজন বাদ দিলে যতটা বরফ লওয়া হইয়াছে তাহার ওজন পাওয়া যাইবে।

গণনা

মনে কর, বরফ গলনের লীনতাপ $= L$ ক্যালরি

আলোড়ক সহ ক্যালরিমিটারের ভর $= m_1$ গ্রাম

জল সমেত আলোড়ক ও ক্যালরিমিটারের ভর $= m_2$ গ্রাম

জল ও বরফগলা জল সমেত আলোড়ক ও ক্যালরিমিটারের ভর $= m_3$ গ্রাম

ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক যে ধাতু দ্বারা তৈয়ারী তাহার

আপেক্ষিক তাপ $= s$

ক্যালরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_1$°C

অবশেষে সর্বনিম্ন উষ্ণতা $= t_2$°C

সুতরাং জলের ভর $= m_2 - m_1$ গ্রাম $= m$ গ্রাম (ধর)

এবং বরফের ভর $= m_3 - m_2$ গ্রাম $= M$ গ্রাম (ধর)

ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= m_1 s(t_1 - t_2)$ ক্যালরি

জল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$= m(t_1 - t_2)$ ক্যালরি

∴ ক্যালরিমিটার ও জল কর্তৃক মোট বর্জিত তাপ

$= (m_1 s + m)(t_1 - t_2)$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার ও জল কর্তৃক বর্জিত তাপ গ্রহণ করিয়া বরফ প্রথমতঃ 0°C উষ্ণতায় গলিয়া জল হয় এবং পরে সেই জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইয়া t_2°C হয়।

কেবলমাত্র গলিবার জন্য বরফ কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= ML$ ক্যালরি

গলিত জলের উষ্ণতা 0°C হইতে t_2°C বৃদ্ধির জন্য গৃহীত তাপ

$= Mt_2$ ক্যালরি

সুতরাং বরফ কর্তৃক মোট গৃহীত তাপ $= ML + Mt_2$ ক্যালরি

যেহেতু, মোট গৃহীত তাপ $=$ মোট বর্জিত তাপ

$$\therefore \quad ML + Mt_2 = (m_1 s + m)(t_1 - t_2)$$

$$\therefore \quad L = \frac{(m_1 s + m)(t_1 - t_2)}{M} - t_2.$$

নিম্নে কয়েকটি পদার্থের গলনের লীনতাপের একটি তালিকা প্রদত্ত হইল :—

পদার্থ	লীনতাপ (ক্যালরি প্রতিগ্রামে)
বরফ	80
ন্যাপথালিন	35
সীসা	6·3

59. গলনাঙ্ক নির্ণয়

এই অধ্যায়ের শেষে প্রদত্ত তালিকা হইতে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন পদার্থের গলনাঙ্কের মধ্যে বিরাট পার্থক্য রহিয়াছে। আমরা গলনাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য এমন একটি পদার্থ বাছিয়া লইব যাহার গলনাঙ্ক পরীক্ষাগারে সাধারণ থার্মমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করিতে পারা যায় অর্থাৎ যাহার গলনাঙ্ক 0°C ও 100°C উষ্ণতার মধ্যে অবস্থিত।

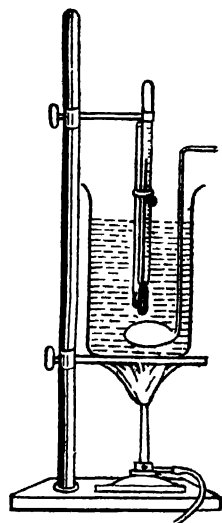
মনে করা যাক্, ন্যাপথালিনের গলনাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে। দুইটি প্রণালীতে ইহা করা যাইতে পারে—(1) কৈশিকনল প্রণালী (Capillary tube method), (2) শীতলীকরণ প্রণালী (Cooling method)।

(1) কৈশিকনল প্রণালী (Capillary tube method)

পরীক্ষা : 4 বা 5 ইঞ্চি লম্বা একটি পাতলা-দেয়াল-বিশিষ্ট কৈশিকনল লও। একটা চীনামাটির বেসিনে (basin) বার্ণারের উপর উত্তপ্ত করিয়া খানিকটা ন্যাপথালিন গলাও। গলন্ত ন্যাপথালিনে কৈশিকনলের একমুখ ডুবাইয়া উহার মধ্যে প্রায় দুই ইঞ্চি পরিমাণ ন্যাপথালিন টানিয়া লও এবং নীচের মুখ গলাইয়া বন্ধ করিয়া দাও।

Fig. 30—কৈশিকনল প্রণালীতে গলনাঙ্ক নির্ণয়

এখন কৈশিকনলটি সূতা দিয়া একটি থার্মমিটারের নিম্নাংশে বাঁধিয়া থার্মমিটারসহ একটি বীকারে জলের মধ্যে এমন ভাবে ডুবাও, যেন কৈশিকনলের খোলামুখ জলের উপরে থাকে কিন্তু ন্যাপথালিনপূর্ণ অংশ সম্পূর্ণ জলের মধ্যে থাকে (30নং চিত্র দেখ)। কৈশিকনলের মধ্যে সাদা ন্যাপথালিন দেখা যাইবে।

বীকারের নীচে ধীরে ধীরে তাপ দিতে থাক এবং একটি আলোড়কের সাহায্যে জল নাড়িতে থাক। এক সময় হঠাৎ দেখিতে পাইবে ন্যাপথালিন গলিয়া স্বচ্ছ

হইয়া গিয়াছে। ঠিক সেই মুহূর্তে থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখ এবং লিখিয়া রাখ। তারপর বীকারের নীচ হইতে বার্ণার সরাইয়া লইয়া জল ঠাণ্ডা হইতে দাও এবং আলোড়ক দ্বারা নাড়িতে থাক। এক সময় হঠাৎ দেখিতে পাইবে ন্যাপথালিন জমিয়া সাদা হইয়াছে। সেই মুহূর্তে আবার থার্মোমিটারে উষ্ণতা দেখ। এই দুই উষ্ণতার পার্থক্য সাধারণতঃ এক ডিগ্রীর বেশী হইবে না। ইহাদের গড়কেই ন্যাপথালিনের গলনাঙ্ক ধরা যাইতে পারে। কয়েকবার এই প্রক্রিয়ায় গলনাঙ্ক নির্ণয় করিয়া গড় গলনাঙ্ক বাহির কর।

নীচে একটি পরীক্ষার ফল দেওয়া হইল—

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	গলনাঙ্ক °C	হিমাঙ্ক °C	গড় (গলনাঙ্ক) °C
1	80·5	79 5	80
2	80·4	79·4	79·9
3	80·6	79·6	80·1
			গড় = 80

(2) **শীতলীকরণ প্রণালী (Cooling method)**

একটি টেস্ট-টিউবে খানিকটা ন্যাপথালিনের গুঁড়া লও। একটি কর্ক দ্বারা টেস্ট-টিউবের মুখ বন্ধ কর এবং কর্কের ভিতর ছিদ্র করিয়া একটি থার্মমিটার ঢুকাইয়া দাও যেন বাল্বটি ন্যাপথালিনের ভিতরে থাকে। একটি বড় বীকারে জলের মধ্যে থার্মমিটার সহ টেস্ট-টিউবটি খাড়াভাবে ডুবাইয়া রাখ যেন ন্যাপথালিনের অংশ সম্পূর্ণ জলের মধ্যে থাকে। তারপর বীকারের নীচে বার্ণার বসাইয়া তাপ দিতে থাক এবং একটি আলোড়কের সাহায্যে জল নাড়িতে থাক। কিছুক্ষণ পরে টেস্ট-টিউবে ন্যাপথালিন গলিয়া যাইবে। গলান ন্যাপথালিনের উষ্ণতা আরও 9°C অথবা 10°C পর্যন্ত বাড়িতে দাও। তারপর বীকারের নীচ হইতে বার্ণার সরাইয়া লও এবং টেস্ট-টিউবটি ঠাণ্ডা হইতে দাও। অনবরত আলোড়ক দ্বারা বীকারের জল নাড়িতে থাক এবং আধমিনিট অন্তর ন্যাপথালিনে

Fig 31—শীতলীকরণ পদ্ধতিতে গলনাঙ্ক নির্ণয়

ডুবান থার্মমিটার হইতে উষ্ণতার পাঠ লইয়া লিখিয়া রাখিতে থাক। উষ্ণতা হ্রাস পাইতে পাইতে একসময় ন্যাপথালিন জমিতে আরম্ভ করিবে এবং দেখিবে যতক্ষণ সব ন্যাপথালিন না জমে ততক্ষণ উষ্ণতার আর হ্রাস হয় না। সমস্ত ন্যাপথালিন জমিয়া যাইবার পরও কিছুক্ষণ উষ্ণতা লইতে থাক। উষ্ণতা হ্রাস পাইতে পাইতে যেখানে আসিয়া কিছুক্ষণের জন্য স্থির হয়, উহাই ন্যাপথালিনের হিমাঙ্ক তথা গলনাঙ্ক।

পর্যবেক্ষণের ফল হইতে একটি সময়-উষ্ণতার লেখচিত্র আঁক। লেখচিত্র হইতে গলনাঙ্ক আরও পরিষ্কার বুঝা যাইবে। 32নং চিত্রে একটি লেখচিত্রের নমুনা

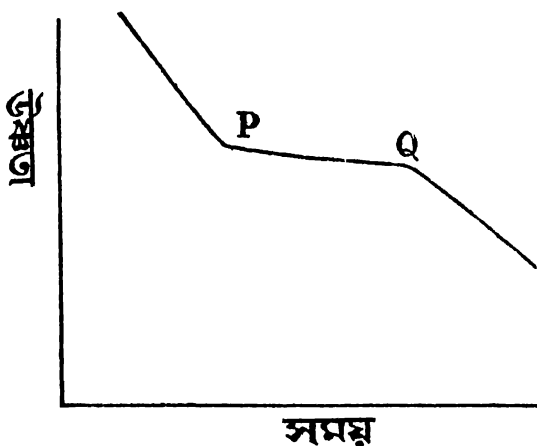



Fig 32—সময়-উষ্ণতা লেখচিত্র

দেওয়া হইল। দেখ, ইহার PQ অংশ সময়-অক্ষের সমান্তরাল—অর্থাৎ ঐ সময়টুকু ধরিয়া উষ্ণতা স্থির ছিল এবং ন্যাপথালিন কঠিন হইতেছিল। এই স্থির উষ্ণতাই ন্যাপথালিনের গলনাঙ্ক।

60. গলনে বা কঠিনীভবনে আয়তনের পরিবর্তন

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে কঠিন পদার্থ তরল হইলে উহার আয়তন বৃদ্ধি পায় ইহাই সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জল, ঢালাই লোহা, পিতল প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থের ক্ষেত্রে এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। ইহারা কঠিন হইতে তরল হইলে

আয়তনে সঙ্কুচিত হয় এবং তরল হইতে কঠিন হইলে আয়তনে প্রসারিত হয়। যেমন 0°C উষ্ণতায় 11 c.c জল জমিয়া 12 c.c. বরফ হয় অর্থাৎ শতকরা 9 ভাগেরও বেশী আয়তনে বৃদ্ধি পায়।

শীতের দেশে এজন্য নানারকম অসুবিধা হয়। যেমন, পাইপের ভিতরের জল জমিয়া বরফ হইবার সময় আয়তনবৃদ্ধির ফলে যে প্রচণ্ড বল উৎপন্ন হয় তাহাতে অনেক সময় পাইপ ফাটিয়া যায়। পাহাড়ে পাথরের রন্ধ্রের মধ্যে যে জল প্রবেশ করে, প্রচণ্ড শীতে তাহা জমিবার সময় পাথর ফাটিয়া যায়।

লোহা এবং পিতলের ক্ষেত্রে এই ব্যতিক্রম ঢালাইয়ের পক্ষে ইহাদিগকে উপযোগী করিয়াছে। ঢালাই করিবার সময় ইহাদিগকে গলাইয়া ছাঁচের মধ্যে ঢালা হয়। কঠিন হইবার সময় যখন ইহারা আয়তনে বাড়ে তখন ছাঁচের আনাচ-কানাচ সব জায়গা ভরিয়া দেয় এবং ছাঁচের নিখুঁত আকার পায়।

61. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on melting point)

পদার্থের গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব আছে, কারণ চাপের পরিবর্তনে গলনাঙ্কের পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। পদার্থের প্রকৃতি অনুসারে এই প্রভাব বিপরীতমুখী হয় এবং নিম্নরূপে ব্যক্ত করা যায়—

(1) গলনের ফলে যে সকল পদার্থের আয়তন কমিয়া যায়, চাপের বৃদ্ধিতে তাহাদের গলনাঙ্কের অবনতি হয়। এই রকম পদার্থের দৃষ্টান্ত জল (বরফ), ঢালাই লোহা, পিতল ইত্যাদি।

(2) গলনের ফলে যে সকল পদার্থের আয়তন বর্ধিত হয়, চাপের বৃদ্ধিতে তাহাদের গলনাঙ্কের উন্নতি হয়। যেমন, মোম ও অন্যান্য পদার্থ।

নিম্নলিখিত দৃষ্টান্ত হইতে গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাবের পরিমাণ সম্পর্কে ধারণা হইবে। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে, এক বায়ুমণ্ডলের সমান চাপের বৃদ্ধি হইলে বরফের গলনাঙ্ক 0°C হইতে ·0072° নামিয়া যায়। অপরপক্ষে, সাধারণ চাপে মোমের গলনাঙ্ক 46°C-এর কাছাকাছি। কিন্তু চাপের পরিমাণ যদি 100 বায়ুমণ্ডলের সমান হয় তাহা হইলে গলনাঙ্ক প্রায় 50°C উষ্ণতায় গিয়া দাঁড়ায়।

চাপবৃদ্ধির ফলে বরফের গলনাঙ্কের অবনতির কয়েকটি সুন্দর দৃষ্টান্ত দেওয়া যাইতে পারে।

(1) দুই টুকরা বরফ লইয়া খানিকক্ষণ একসঙ্গে জোরে চাপিয়া ধর। চাপ ছাড়িয়া দিলে দেখিবে দুই টুকরা বরফ একসঙ্গে জুড়িয়া গিয়াছে। চাপে বরফের গলনাঙ্ক নামিয়া গেলে বরফের টুকরা দুইটির সংযোগস্থলে খানিকটা বরফ জলে পরিণত হয় এবং চাপ সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে আবার জমিয়া যায়। ইহাকে পুনঃশিলীভবন (regelation) বলে।

(2) শীতের দেশের লোকেরা তুষারপাত (snowfall) হইলে 'তুষারের বল' তৈয়ারি করে। একমুঠো তুষার হাতে লইয়া জোরে চাপ দিলে 'তুষারের বল' তৈয়ারী হয়। এখানেও হাতের চাপে গলনাঙ্ক নামিয়া যাওয়ার ফলে তুষার গলিয়া জল হয় এবং হাতের চাপ সরাইয়া লইলে গলনাঙ্ক পুনরায় 0°C হয় এবং বলের বাহিরের আবরণ শক্ত বরফে পরিণত হয়।

(3) নীচের পরীক্ষাটি দ্বারা পুনঃশিলীভবন আরও সুন্দরভাবে দেখান যায়।

পরীক্ষা : চিত্রানুযায়ী একটি বরফের বড় টুকরা দুইটি অবলম্বনের উপর রাখ। একটি সরু তামার তারের বেড় (loop) তৈয়ারি করিয়া বরফের টুকরাটির উপর পরাইয়া দাও এবং ইহার নীচের দিকে একটি ভারী ওজন ঝুলাইয়া দাও। ওজনের পরিমাণ ঠিকমত হইলে দেখা যাইবে যে তামার তারটি ধীরে ধীরে বরফের টুকরা কাটিয়া বাহির হইয়া আসিবে কিন্তু টুকরাটি দ্বিখণ্ডিত হইবে না।

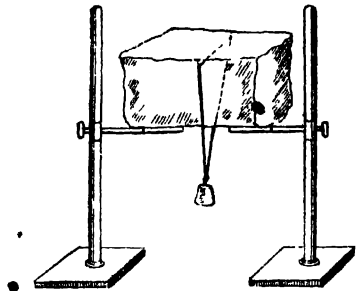



Fig 33—গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব

ইহা কিরূপে সম্ভব হয় ? চাপবৃদ্ধির জন্য ঠিক তারের নীচে বরফের গলনাঙ্ক নামিয়া যায় এবং বরফ জলে পরিণত হয়। ঐ জলের ভিতর দিয়া তার নীচে নামে আর জল উপরে উঠিয়া যায়। সেই জলের উপর তখন আর বর্ধিত চাপ না থাকায় গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক পুনরায় 0°C হয় এবং জল জমিয়া বরফ হয়। কিন্তু তারের চাপ ঠিক নীচের বরফের উপর পড়ায় আরও বরফ উপরোক্ত উপায়ে জল হয় এবং তারের উপরে উঠিয়া চাপমুক্তির ফলে পুনরায় বরফ হইয়া যায়। এইরূপে একদিকে বরফ কাটিয়া তারটি নীচে নামিতে থাকে আর অন্য দিকে জল জমিয়া খণ্ডিত বরফকে জোড়া লাগাইতে থাকে।

তামার তারের পরিবাহিতাও এই বিষয়ে সহায়তা করে। তারের উপরের জল জমিবার সময় 'লীনতাপ' ছাড়িয়া দেয়। এই তাপ তারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া তারের অব্যবহিত নীচের বরফকে গলাইতে সহায়তা করে। লোহা তামার মত সুপরিবাহী নহে। এজন্য লোহার তার দিয়া এই পরীক্ষাটি ভালভাবে হয় না।

62. দ্রবণের হিমাঙ্ক (Freezing point of a solution)

পরীক্ষা ঃ একটি বীকারের দুই-তৃতীয়াংশ পরিষ্কার জলে ভর্তি কর এবং তাহাতে খানিকটা লবণ দ্রবীভূত কর। বীকারটি আর একটি বড় পাত্রে হিমমিশ্রণের (লবণ ও বরফের মিশ্রণ) মধ্যে রাখ এবং একটি থার্মমিটারের সাহায্যে দ্রবণের উষ্ণতা লক্ষ্য করিতে থাক। দেখিবে উষ্ণতা 0°C-র নীচে নামিয়া গেলেও দ্রবণ কঠিনীভূত হইবে না। উষ্ণতা 0°C-র নীচে একটি নির্দিষ্ট মাত্রায় পৌঁছিলে দ্রবণ কঠিনীভূত হইতে শুরু করে। উষ্ণতার এই মাত্রা দ্রবণে দ্রাব্য ও দ্রাবকের পরিমাণের অনুপাতের উপর নির্ভর করে।

এই পরীক্ষায় দেখা গেল লবণ-দ্রবের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা নীচে। যে-কোনও দ্রাব্য ও দ্রাবকের ক্ষেত্রে ইহা সাধারণ ভাবে সত্য। অর্থাৎ কোনও দ্রাবকে লবণজাতীয় কোনও পদার্থ দ্রবীভূত হইলে হিমাঙ্কের অবনতি (lowering) হয়। দ্রাব্যের পরিমাণ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে হিমাঙ্কের অবনতির পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

63. হিমমিশ্রণ (Freezing mixture)

পরীক্ষা ঃ একটি বীকারে বিশুদ্ধ জল লও এবং উহার মধ্যে ক্ল্যাম্প ও স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে একটি থার্মমিটার ডুবাইয়া জলের উষ্ণতা লক্ষ্য কর। এখন জলের মধ্যে খানিকটা লবণ ফেলিয়া দিয়া একটি কাচের দণ্ডের সাহায্যে ধীরে ধীরে নাড়িতে থাক। লক্ষ্য কর, লবণ দ্রবীভূত হইবার সঙ্গে সঙ্গে জলের উষ্ণতা কমিয়া গিয়াছে।

উষ্ণতাহ্রাসের কারণ আমরা এইভাবে ব্যাখ্যা করিতে পারি। কঠিন পদার্থ গলনের (melting) সময় যেমন লীনতাপ শোষণ করে—দ্রবণের সময়ও তদ্রূপ

করে। দ্রবণের সময় দ্রাব্য দ্রাবক হইতে (আমাদের এই পরীক্ষায় লবণ জল হইতে) প্রয়োজনীয় লীনতাপ গ্রহণ করে, ফলে দ্রবণের উষ্ণতা হ্রাস পায়।

এই একই কারণে বরফের সহিত লবণজাতীয় পদার্থ মিশ্রিত করিলে মিশ্রণের উষ্ণতা বরফের গলনাঙ্ক 0°C-র নীচে নামিয়া যায়। এক্ষেত্রে গলন এবং দ্রবণ উভয় প্রক্রিয়ার জন্যই লীনতাপ শোষিত হয়, কারণ বরফ গলে এবং লবণ দ্রবীভূত হয়। এই প্রকার মিশ্রণকে হিমমিশ্রণ বলে। হিমমিশ্রণের উষ্ণতা লবণের প্রকৃতি এবং বরফ ও লবণের আনুপাতিক পরিমাণের উপর নির্ভর করে। এই প্রকারে বরফের সঙ্গে খাইবার নুন মিশ্রিত করিয়া −22°C ও ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড মিশ্রিত করিয়া −52°C অবধি উষ্ণতা পাওয়া যাইতে পারে।

বাষ্পীভবন ও ঘনীভবন

(Vaporisation and condensation)

64. পদার্থের তরল অবস্থা হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হওয়াকে বাষ্পীভবন এবং গ্যাসীয় অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তর হওয়াকে ঘনীভবন বলে। তরল পদার্থ তাপ গ্রহণ করিয়া গ্যাসীয় হয় এবং গ্যাসীয় পদার্থ তাপ বর্জন করিয়া তরল হয়।

তরল পদার্থের বাষ্পীভবন তিন উপায়ে হইতে পারে, যথা—**বাষ্পায়ন** (Evaporation), **স্ফুটন** (Boiling or Ebullition) ও **ঊর্ধ্বপাতন** (Sublimation)।

(1) **বাষ্পায়ন**—একটি ডিশে সামান্য জল লইয়া খোলা জায়গায় ফেলিয়া রাখিলে কিছুকাল পরে ডিশের জল অদৃশ্য হইয়া হাওয়ায় মিশিয়া যায়; ঘরের মেঝে জল দিয়া মুছিবার পর শুকাইয়া যায়, কালি দিয়া লিখিবার পর কালি শুকাইয়া যায়। এ সকল বাষ্পায়নের দৃষ্টান্ত। তরল পদার্থের এইরূপ ধীরে ধীরে গ্যাসীয় পদার্থে পরিণত হওয়াকে বাষ্পায়ন বলে। বাষ্পায়ন তরল পদার্থের উপরিতল (Surface) হইতে হয়।

(2) **স্ফুটন**—একটি কাচের ফ্লাস্কের প্রায় অর্ধেক অংশ জলে ভর্তি করিয়া কর্কের ছিপি আঁটিয়া দাও। ছিপির মধ্যে দুইটি ছিদ্রের একটির ভিতর দিয়া একটি

থার্মমিটার ও অপরটির ভিতর দিয়া একটি ছোট বাঁকা নল ঢুকাইয়া দাও। থার্মমিটারের বাল্‌বটি যেন জলের মধ্যে ডুবান থাকে। ফ্লাস্কটি একটি স্ট্যাণ্ডের উপর বসাইয়া বার্ণারের সাহায্যে জল গরম করিতে থাক। লক্ষ্য কর, জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতেছে এবং ফ্লাস্কের দেওয়ালের গায় বুদ্‌বুদ্‌ দেখা দিতেছে। উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে এই বুদ্‌বুদ্‌গুলির আকার বৃদ্ধি পাইবে এবং উহারা জলের উপরিভাগে উঠিবে। জলের ভিতরের দ্রবীভূত বায়ু হইতে এই বুদ্‌বুদ্‌গুলির উৎপত্তি। উষ্ণতা আরও বাড়িলে জলীয় বাষ্পের বুদ্‌বুদ্‌ পাত্রের তলদেশে দেখা দিবে এবং উহারা খানিকটা উপরে উঠিয়া অপেক্ষাকৃত শীতল জলের সংস্পর্শে আসিয়া মিলাইয়া যাইবে। এই সময় সোঁ সোঁ শব্দ হইতে থাকে। উষ্ণতা আরও বাড়িলে পাত্রস্থিত সমস্ত জল জুড়িয়া বুদ্‌বুদ্‌ নীচ হইতে উপরে দ্রুত উঠিতে থাকিবে এবং জল টগ্‌বগ্‌ করিতে থাকিবে। এই অবস্থাকে **স্ফুটন** বলে। লক্ষ্য কর স্ফুটনের সময় জলের উষ্ণতা স্থির থাকে। যে উষ্ণতায় কোনও তরল পদার্থের স্ফুটন হয়, তাহাকে সেই পদার্থের **স্ফুটনাঙ্ক** (Boiling point) বলে। বিভিন্ন তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক বিভিন্ন এবং স্ফুটনাঙ্ক বায়ুর চাপের উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ একই তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক বিভিন্ন বায়ুর চাপে বিভিন্ন।

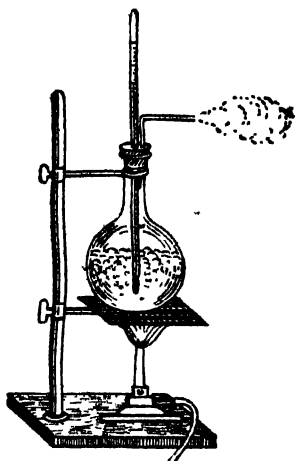



Fig 34—স্ফুটন

(3) **ঊর্ধ্বপাতন**—কর্পূর, ন্যাপথালিন, আয়োডিন প্রভৃতি কতকগুলি পদার্থ কঠিন অবস্থা হইতে একেবারেই গ্যাসীয় অবস্থায় পরিণত হয় এবং পুনরায় ঠাণ্ডা হইলে গ্যাসীয় হইতে কঠিন হয়—মাঝখানে তরল হয় না। ইহাকে ঊর্ধ্বপাতন বলে।

65. বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য

(1) বাষ্পায়ন যে-কোনও উষ্ণতায় হইতে পারে কিন্তু বায়ুর চাপ স্থির থাকিলে কেবলমাত্র এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্ফুটন হয়।

(2) বাষ্পায়ন তরল পদার্থের উপরিতল হইতে হয় কিন্তু স্ফুটন তরল পদার্থের সকল স্থান জুড়িয়া হয়।

(3) বাষ্পায়ন ধীর প্রক্রিয়া কিন্তু স্ফুটন দ্রুত প্রক্রিয়া।

66. বাষ্পীভবনের লীনতাপ

আমরা দেখিয়াছি সাধারণ চাপে জলের উষ্ণতা 100° সেন্টিগ্রেডে পৌঁছিলে জল ফুটিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ স্ফুটন চলে ততক্ষণ এই উষ্ণতা স্থির থাকে এবং জল ক্রমাগত একই উষ্ণতায় স্টীমে পরিণত হইতে থাকে। এক গ্রাম জলকে উহার স্ফুটনাঙ্কের উষ্ণতায় স্টীমে পরিণত করিতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয়, তাহাকে 'স্টীমের লীনতাপ' (Latent heat of steam) বলে। এক গ্রাম স্টীম একই উষ্ণতায় জলে পরিণত হইতে ঐ পরিমাণ তাপ বর্জন করে। অর্থাৎ উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটাইয়া একক ভরের কোনও পদার্থের অবস্থান্তর ঘটাইতে যে পরিমাণ তাপ শোষিত বা বর্জিত হয় তাহাই ঐ পদার্থের লীনতাপ। গলনের ক্ষেত্রে ঐ তাপকে বলে 'গলনের লীনতাপ' এবং বাষ্পীভবনের ক্ষেত্রে বলে 'বাষ্পীভবনের লীনতাপ'। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে স্টীমের লীনতাপ 540 ক্যালরি অর্থাৎ এক গ্রাম জলকে স্ফুটনাঙ্কের উষ্ণতায় (100°C) স্টীমে পরিণত করিতে 540 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় এবং এক গ্রাম স্টীম ঐ উষ্ণতায় জলে ঘনীভূত হইতে 540 ক্যালরি তাপ বর্জন করে।

67. বাষ্পায়নের হার পরিবর্তনের কারণ (Factors on which rate of evaporation depends)

আমরা সাধারণ অভিজ্ঞতায় জানি সকল তরলের বাষ্পায়ন সমান গতিতে হয় না এবং একই তরলের বাষ্পায়নের হারও সকল সময় এক নহে। সাধারণতঃ নিম্নলিখিত কারণে বাষ্পায়নের হারে পার্থক্য হয় :

(1) **তরলের প্রকৃতি**—সমপরিমাণ জল ও মেথিলেটেড স্পিরিট দুইটি সমান ডিশে ঢালিয়া খোলা জায়গায় রাখিয়া দিলে দেখা যাইবে জলের অনেক আগে মেথিলেটেড স্পিরিট উবিয়া গিয়াছে। ইহাতে বুঝা যায় মেথিলেটেড স্পিরিটের বাষ্পায়নের হার জল হইতে বেশী। তরলের স্ফুটনাঙ্ক যত কম হয় বাষ্পায়নের হার তত বেশী হয়।

(2) **তরলের উষ্ণতা**—তরলের উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়।

(3) **তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল**—একই পরিমাণ তরল একটি বোঁকারে রাখিলে যে সময়ে বাষ্পীভূত হইবে, একটি ডিশে ঢালিয়া রাখিলে তাহা অপেক্ষা অনেক কম সময়ে বাষ্পীভূত হইবে। তরলের উন্মুক্ত উপরিতল যত বেশী প্রসারিত হইবে বাষ্পায়নের হার তত দ্রুত হইবে।

(4) **বায়ুর শুষ্কতা**—বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকিলে জলের বাষ্পায়নের হার কমিয়া যায় এবং বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকিলে অর্থাৎ বায়ু শুষ্ক হইলে বাষ্পায়নের হার দ্রুত হয়। বর্ষাকালে ভিজা কাপড় শুকাইতে দেরি হয় কিন্তু শীতের দুপুরে শীঘ্র শুকাইয়া যায়।

(5) **বায়ুর চলাচল**—তরলের উপরিস্থিত বায়ু প্রবহমান হইলে বাষ্পীভবনের হার বৃদ্ধি পায়। এজন্য ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকাইবার জন্য বাতাসে আন্দোলিত করা হয়। শরীরে হাওয়া করিলে ঘাম তাড়াতাড়ি শুকায়।

(6) **বায়ুর চাপ**—তরলের উপর বায়ুর চাপ যত কম হয় বাষ্পায়নের হার তত বাড়ে। এজন্য বায়ুশূন্য স্থানে বাষ্পায়ন অত্যন্ত দ্রুত হয়।

68. বাষ্পায়নে শৈত্য (Cooling due to evaporation)

তরলের বাষ্পায়নের জন্য তাপের (লীনতাপ) প্রয়োজন হয়। অন্য কোনও উপায়ে এই তাপ সরবরাহ না হইলে তরল নিজের ভিতর হইতে এবং সংলগ্ন বায়ু বা অন্য পদার্থ হইতে এই তাপ গ্রহণ করে। ফলে তরল নিজে এবং ঐ সকল পদার্থ শীতল হইয়া পড়ে। বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তির কতকগুলি দৃষ্টান্ত নীচে দেওয়া হইল :

(1) হাতে ইথার, স্পিরিট প্রভৃতি উদ্‌বায়ী পদার্থ লইলে উহারা শীঘ্র উবিয়া যায় এবং হাতে শৈত্যের অনুভূতি হয়। ইহার কারণ বাষ্পায়নের জন্য ঐ সকল পদার্থ হাত হইতে লীনতাপ গ্রহণ করে।

(2) ভিজা কাপড়ে উন্মুক্ত স্থানে অথবা বায়ুপ্রবাহে দাঁড়াইলে ঠাণ্ডা লাগে।

(3) মাটির কুঁজার জল ঠাণ্ডা থাকে কিন্তু পিতলের কলসী বা কাচের পাত্রে তত ঠাণ্ডা হয় না। ইহার কারণ কুঁজা সচ্ছিদ্র। ঐ সকল ছিদ্রের ভিতর দিয়া কুঁজার জল বাহিরের বায়ুর সংস্পর্শে আসে ও উহার দ্রুত বাষ্পায়ন হয়। বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ কুঁজা ও জল হইতেই সরবরাহ হওয়ার ফলে জল ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

(4) গরম চা ও দুধ কাপ হইতে ডিশে ঢালিলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়, কারণ উপরিতলের ক্ষেত্রফল প্রসারণের ফলে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়।

(5) ঘর্মাক্ত দেহে হাওয়া করিলে দেহ শীতল হয়। ইহার কারণ বায়ু-চলাচলের ফলে ঘর্মের দ্রুত বাষ্পায়ন হয় এবং ইহার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ দেহ হইতে সরবরাহ হয়।

(6) গ্রীষ্মকালে জানালায় খস্‌খস্ টাঙাইয়া জল ছিটাইয়া ভিজাইয়া দিলে ঘর ঠাণ্ডা হয়। খস্‌খস্ হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া জলের বাষ্পায়ন হয়, ফলে খস্‌খস্ ঠাণ্ডা হইয়া যায়। সুতরাং বাহিরের গরম বাতাস খস্‌খসের ভিতর দিয়া আসিবার সময় ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

69. বাষ্পায়নে শৈত্যের ব্যবহারিক প্রয়োগ

বরফকল, রেফ্রিজারেটার প্রভৃতি যন্ত্রগুলি বাষ্পায়নে শৈত্যের ব্যবহারিক প্রয়োগের দৃষ্টান্ত। তরল অ্যামোনিয়া, কারবন ডাই-অক্সাইড, সালফার ডাই-অক্সাইড, ফ্রিয়ন প্রভৃতির দ্রুত বাষ্পায়ন দ্বারা ঐ সকল যন্ত্রে শৈত্যের সৃষ্টি করা হয়।

70. স্ফুটনের শর্ত (Condition for boiling)

পরীক্ষা : একটি সরল ব্যারোমিটারের নল P-কে কাচের জ্যাকেট (মোটা নল) দ্বারা পরিবেষ্টিত করিবার ব্যবস্থা কর (35নং চিত্র)। জ্যাকেটটির উপর ও নীচের ছিপির ভিতর দিয়া দুইটি ছোট বাঁকা নল ঢুকান আছে। উপরের নল A দিয়া স্টীম পাঠাইলে স্টীম ঘনীভূত হইয়া নীচের নল B দিয়া জলরূপে বাহির হইয়া যায়। একটি বাঁকা পিপেটের (bent pipette-এর) সাহায্যে ব্যারোমিটারের নলের নীচ দিক দিয়া একটু একটু করিয়া জল ঢুকাও। জল পারদের উপর ভাসিয়া উঠিবে এবং টরিসেলীয় শূন্যস্থানে গিয়া বাষ্পীভূত হইবে। জলীয় বাষ্পের চাপে নলের মধ্যে পারদ খানিকটা নামিয়া আসিবে।

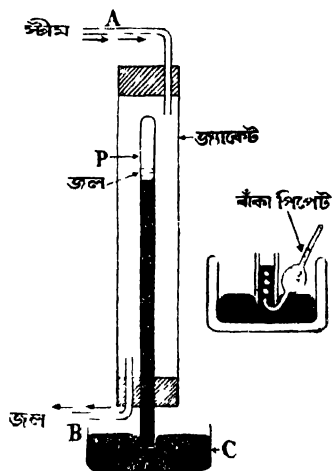



Fig 35—স্ফুটনের শর্ত পরীক্ষা

টরিসেলীয় শূন্যস্থান জলীয় বাষ্পদ্বারা সম্পৃক্ত হইলে (হাইগ্রোমিতি অধ্যায় দ্রষ্টব্য) জল আর বাষ্পীভূত হইবে না, পারদের উপর জমা হইয়া থাকিবে।

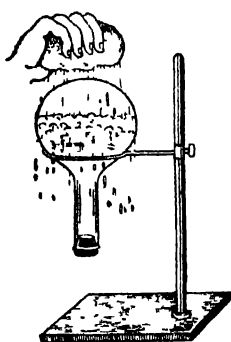
এখন একটি বয়লার হইতে A নলের ভিতর দিয়া ষ্টীম পাঠাও। ষ্টীমের উত্তাপে P নলের মধ্যস্থ জলের উষ্ণতা বাড়িতে থাকিবে, বাষ্পায়ন বৃদ্ধি পাইবে এবং বাষ্পের চাপবৃদ্ধির ফলে পারদস্তম্ভ নামিতে থাকিবে। জল এক সময় ফুটিতে আরম্ভ করিবে এবং তখন দেখা যাইবে যে B নলে এবং C পারদ-পাত্রে পারদ একই সমতলে রহিয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায়, যে উষ্ণতায় জল ফুটিতে আরম্ভ করে সেই উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ বাহিরের বায়ুর চাপের সমান। ইহাই স্ফুটনের শর্ত।

অতএব আমরা বলিতে পারি, যে উষ্ণতায় কোনও তরলের বাষ্পের চাপ উহার উপর বায়ুর চাপের সমান সেই উষ্ণতাই ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক। যতক্ষণ না বাষ্পের চাপ বাহিরের চাপের সমান হয় ততক্ষণ তরল ফুটিতে আরম্ভ করে না।

71. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব

উপরের পরীক্ষাটি হইতে বুঝা যায় যে, তরলেব উপর চাপের পরিবর্তন হইলে স্ফুটনাঙ্কেরও পরিবর্তন হইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায় যে, চাপের বৃদ্ধি হইলে স্ফুটনাঙ্কের উন্নতি হয় এবং চাপের হ্রাস হইলে স্ফুটনাঙ্কের অবনতি হয়। স্বাভাবিক বায়ুর চাপে অর্থাৎ 76 সে মি. চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C। বায়ুর চাপ 76 সে. মি -এর বেশী হইলে স্ফুটনাঙ্ক 100°C-এর উপরে উঠিবে এবং বায়ুর চাপ 76 সে.মি.-এর কম হইলে স্ফুটনাঙ্ক 100°C-এর নীচে নামিবে।

(1) ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা (**Franklin's experiment**)

Fig 3(—ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা

পরীক্ষা ঃ একটি কাচের ফ্লাস্কের অর্ধেক জলপূর্ণ করিয়া বার্ণার বা স্টোভের সাহায্যে জল ফুটাও। ফুটন্ত জলের বাষ্প ফ্লাস্ক হইতে নির্গত হইবার সময় ফ্লাস্কের ভিতবের বায়ুকেও বাহির করিয়া দিবে। কিছুক্ষণ ফ্লাস্কের মুখ দিয়া ষ্টীম নির্গত হইবার পর ফ্লাস্কটি বার্ণার বা স্টোভের উপর হইতে সরাইয়া লও এবং তাড়াতাড়ি একটি কর্ক দ্বারা ইহার মুখ বন্ধ করিয়া একটি রিং-ক্ল্যাম্পের (চিত্র দেখ) উপর উপুর করিয়া রাখ। উষ্ণতা কমিবার সঙ্গে সঙ্গে জলের স্ফুটন বন্ধ হইয়া যাইবে। এক টুকরা স্পঞ্জ জলে ভিজাইয়া ঠাণ্ডা জল ফ্লাস্কের গায়ে নিংড়াইয়া দাও। দেখিতে পাইবে ফ্লাস্কের জল সঙ্গে সঙ্গে পুনরায় ফুটিতে আরম্ভ করিয়াছে যদিও

ঠাণ্ডা জল ঢালিবার দরুন ফ্লাস্কের জলের উষ্ণতা 100° সেণ্টিগ্রেডের অনেক নীচে নামিয়া গিয়াছে।

ফ্লাস্কের গায়ে জল ঢালিবার ফলে ভিতরের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জলে পরিণত হয় এবং জলের উপর চাপ কমিয়া যায়। চাপ কমিবার ফলে স্ফুটনাঙ্ক নামিয়া যায় অর্থাৎ 100°C উষ্ণতার নীচেই জল ফুটিতে থাকে।

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা দেখান যায় তরলের উপর চাপ স্বাভাবিক চাপ অপেক্ষা বেশী বা কম হইলে স্ফুটনাঙ্ক স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের উর্ধ্বে ওঠে বা নীচে নামে।

(2) **রেগোর পরীক্ষা (Regnault's experiment)**

পরীক্ষা ঃ 37নং চিত্র হইতে এই পরীক্ষার জন্য যন্ত্র সন্নিবেশ বুঝা যাইবে। যে তরল লইয়া পরীক্ষা করিতে হইবে তাহা A পাত্রে লওয়া হয়। এই পাত্রের ডালার ভিতর দিয়া চারিটি থার্মমিটার প্রবেশ করান হয় (চিত্রে একটিমাত্র থার্মমিটার দেখান হইয়াছে)। দুইটি থার্মমিটারের বাল্‌ব তরলের মধ্যে ডুবান থাকে ও আর দুইটি কিছু উপরে থাকে। একটি লম্বা নল PQ দ্বারা A পাত্রটি একটি বড় কাচের ফ্লাস্ক B-এর সহিত যুক্ত। PQ নলটিকে ঘিরিয়া রহিয়াছে একটি শীতক (condenser) C। B ফ্লাস্কটি M ম্যানোমিটারের সহিত যুক্ত।

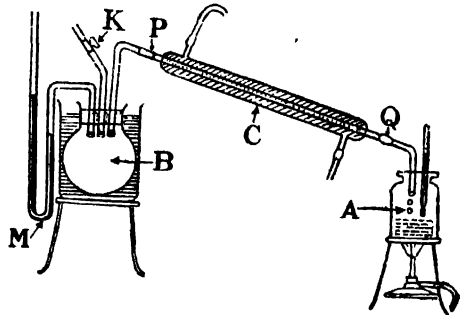



Fig 37—স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (রেগোর পরীক্ষা)

K একটি প্যাঁচকল। বায়ুপাম্পের সহিত এই প্যাঁচকল যুক্ত করিয়া A এবং B পাত্রের চাপ ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যাইতে পারে এবং M ম্যানোমিটারের সাহায্যে চাপ মাপা যাইতে পারে।

প্রথমে K প্যাঁচকল খুলিয়া দিয়া A পাত্রের আভ্যন্তরীণ চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান করা হয়। এই অবস্থায় ম্যানোমিটারের পারদতল দুই বাহুতে

সমান উচ্চতায় থাকে। A পাত্রের তলায় তাপ দিয়া তরলের উষ্ণতা ক্রমশঃ বাড়ান হয়। তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্প C শীতক দ্বারা ঘনীভূত হইয়া পুনরায় A পাত্রে ফিরিয়া আসে। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে পাইতে একসময় তরল ফুটিতে আরম্ভ করিবে। এই সময় থার্মমিটারগুলিতে উষ্ণতা স্থির থাকিতে দেখা যাইবে। চারিটি থার্মমিটারের পাঠের গড়কে তরলের স্ফুটনাঙ্ক ধরা হয়। অতঃপর পাম্পের সাহায্যে বায়ুর চাপ বাড়ান হয় বা কমান হয় এবং ম্যানোমিটার হইতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়। পুনরায় A পাত্রের তরল উত্তপ্ত করা হয় এবং যখন থার্মমিটারগুলিতে উষ্ণতা স্থির দেখা যায় তখন সেই উষ্ণতার পাঠ লওয়া হয় এবং তাহাদের গড় হইতে স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। এই স্ফুটনাঙ্কই পরিবর্তিত চাপে তরলের স্ফুটনাঙ্ক। এইপ্রকার পরীক্ষা দ্বারা রেণো দেখাইয়াছিলেন যে, চাপের বৃদ্ধি হইলে স্ফুটনাঙ্কের উন্নতি হয় এবং চাপের হ্রাস হইলে স্ফুটনাঙ্কের অবনতি হয়।

72. গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের তালিকা

নিম্নের তালিকায় কয়েকটি পদার্থের সাধারণ চাপে গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক দেওয়া হইল।

পদার্থ	গলনাঙ্ক (°C)	স্ফুটনাঙ্ক (°C)
অ্যালুমিনিয়ম	660	2200
তাম্র	1084	2310
স্বর্ণ	1063	2530
লৌহ	1527	3235
সীসা	327·4	1755
পারদ	−38·9	356·7
প্ল্যাটিনাম	1774	4300
রৌপ্য	960·5	2152
দস্তা	419·5	913
গন্ধক	115	444·6

73. বিভিন্ন চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক

চাপ (মিলিমিটারে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য)	স্ফুটনাঙ্ক (°C)
780	100·7
770	100·4
760	100·0
750	99·6
740	99·3
730	98·9
720	98·5
528	90
95	50

অনুশীলনী

1. What is meant by 'change of state' of a substance? What are the reasons for the change of state?

   পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন বলিতে কি বুঝায়? কি কি কারণে অবস্থার পরিবর্তন ঘটে?

2. What is meant by melting and freezing of a substance? What is the difference between the melting point and the freezing point? Explain clearly the statement—the melting point of aluminium is 660°C.

   গলন ও কঠিনীভবন কাহাকে বলে? গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্কের মধ্যে পার্থক্য কি? অ্যালুমিনিয়মের গলনাঙ্ক 660°C বলিতে কি বুঝায়?

3. Describe a method of determining the melting point of (i) wax, (ii) naphthaline.

   নিম্নলিখিত দ্রব্যগুলির গলনাঙ্ক নির্ণয় করিবার প্রণালী বর্ণনা কর :—

   (১) মোম, (২) ন্যাপথালিন।

4. What is the effect of pressure on melting point? Give examples

   গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব কি? দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

5. How does the volume of a substance change on melting or freezing ?

গলনে বা কঠিনীভবনে পদার্থের আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হয় ?

6. What is regelation ? Describe an experiment to demonstrate regelation.

পুনঃশিলীভবন কাহাকে বলে ? পুনঃশিলীভবন দেখাইবার জন্য একটি সুন্দর পরীক্ষা বর্ণনা কর।

7. Explain what is meant by vaporisation and condensation. In how many ways can a substance be vaporised ?

বাষ্পীভবন ও ঘনীভবন কাহাকে বলে ? বাষ্পীভবন কত প্রকারে হইতে পারে ? দৃষ্টান্ত দাও।

8 What is the difference between evaporation and boiling ? What factors regulate the rate of evaporation of a liquid ?

বাষ্পায়ন ও স্ফুটনে পার্থক্য কি ? কি কি কারণে বাষ্পায়নের হারের হ্রাসবৃদ্ধি হয় ?

9. Explain, with examples, how cooling is produced by evaporation.

বাষ্পায়নের শৈত্যের উৎপত্তি বুঝাইয়া দাও এবং ইহার কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও।

10. Define boiling point of a substance How does the boiling point of a substance change with change of temperature ? Describe suitable experiments in support of your statement.

স্ফুটনাঙ্ক কাহাকে বলে ? চাপের হ্রাসবৃদ্ধির সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক কিভাবে পরিবর্তিত হয় ? উত্তরের সমর্থনে উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

11. (a) Why does water keep cool in an earthen pitcher but not so in a brass one ?

(b) Why is it harmful to dry wet clothes on the body ?

(c) Why khaskhas screens are used in the windows in summer ?

(d) Why does hot milk cool rapidly on being spread on a dish ?

(ক) গরমের দিনে মাটির কুঁজার জল ঠাণ্ডা থাকে কিন্তু পিতলের কলসীতে থাকে না কেন ?

(খ) ভিজা কাপড় গায়ে শুকাইলে কি ক্ষতির সম্ভাবনা ?

(গ) গ্রীষ্মকালে জানালায় খস্‌খস্ টাঙান হয় কেন ?

(ঘ) গরম দুধ থালায় ঢালিলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয় কেন ?

সপ্তম অধ্যায়

হাইগ্রোমিতি (Hygrometry)

74. বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প

সমুদ্র, নদী, খাল, বিল, পুকুরের জল সব সময় বাষ্প হইয়া উপরে উঠিতেছে। ইহা ছাড়া গাছপালার পাতা হইতে প্রস্বেদনের সঙ্গে প্রচুর পরিমাণে জলীয় বাষ্প নির্গত হইতেছে। সুতরাং বায়ুতে সব সময় জলীয় বাষ্প থাকে।

[**পরীক্ষা :** একটি বীকার শুষ্ক করিয়া মুছিয়া উহার ভিতরে কতকগুলি বরফকুচি রাখ। একটু পরেই দেখিতে পাইবে বীকারের বহির্দিক জলে ভিজিয়া গিয়াছে।

এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়। বায়ুমণ্ডলে বর্তমান জলীয় বাষ্প বরফের সান্নিধ্যে উষ্ণতা কমিবার ফলে ঘনীভূত হইয়া বীকারের গায়ে জলরূপে লাগিয়া যায়।]

বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন দেশে বিভিন্ন। গরমদেশে ও সামুদ্রিক অঞ্চলে জলের বাষ্পীভবন খুব বেশী। এইজন্য এইসকল স্থানে বায়ুমণ্ডলে প্রচুর পরিমাণে জলীয় বাষ্প থাকে। ঠাণ্ডা দেশে ও সমুদ্র হইতে দূরবর্তী অঞ্চলে বায়ুমণ্ডলে অপেক্ষাকৃত কম জলীয় বাষ্প থাকে। আবার একই স্থানে বিভিন্ন সময়ে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন হয়। যেমন বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলে প্রচুর পরিমাণে জলীয় বাষ্প থাকে, কিন্তু শীতকালে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ খুব কমিয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া মেঘ, কুয়াশা ও বৃষ্টির সৃষ্টি করে। সুতরাং সহজেই বুঝা যায়, বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের উপর আবহাওয়ার অবস্থা নির্ভর করে। এই কারণে আবহাওয়ার অবস্থা নির্ণয়ের জন্য বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্ণয় করা একান্ত প্রয়োজন। তাপ-বিজ্ঞানের যে শাখায় এ সম্বন্ধে আলোচনা করা হয় তাহার নাম হাইগ্রোমিতি (Hygrometry)।

75. কতিপয় সংজ্ঞা

বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্ণয় করিবার অনেকগুলি পদ্ধতি আছে। সে সম্বন্ধে আলোচনা করিবার পূর্বে আমাদিগকে হাইগ্রোমিতি সংক্রান্ত কতকগুলি সংজ্ঞার সহিত পরিচিত হইতে হইবে।

শিশিরাঙ্ক (Dew point)

যে উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলে বর্তমান জলীয় বাষ্প শিশিরে পরিণত হয় তাহাকে **শিশিরাঙ্ক** বলে। নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা সীমায়িত। এই সীমা প্রধানতঃ উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। যতক্ষণ পর্যন্ত না জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এই সীমায় পৌঁছায়, ততক্ষণ বায়ুমণ্ডল অসম্পৃক্ত (unsaturated) থাকে। কিন্তু ঐ সীমায় পৌঁছিলেই বায়ুমণ্ডল সম্পৃক্ত হয়। তখন উষ্ণতার হ্রাস হইলে বা আয়তন সঙ্কুচিত হইলে শিশিরের উৎপত্তি হয়। সুতরাং কোনও স্থানের বায়ুমণ্ডল অসম্পৃক্ত থাকিলেও যদি তাহার উষ্ণতা ক্রমাগত কমান যায় তাহা হইলে এক সময়ে অবস্থিত জলীয় বাষ্পই বায়ুমণ্ডলকে সম্পৃক্ত করিবার পক্ষে যথেষ্ট হয়। সেই স্থান আর একটু শীতল হইলেই উহার মধ্যস্থিত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া শিশিরে পরিণত হয়। অতএব আমরা বলিতে পারি, **যে উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলের কোনও নির্দিষ্ট আয়তন উহার মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের দ্বারা সম্পৃক্ত হয় তাহাকে শিশিরাঙ্ক বলে।**

আর্দ্রতা বা পরম আর্দ্রতা (Humidity or Absolute humidity)

নির্দিষ্ট আয়তনের কোন বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ ঐ বায়ুর আর্দ্রতার পরিমাপক। সাধারণতঃ এক ঘনমিটার বায়ুতে যতগ্রাম জলীয় বাষ্প থাকে তাহার পরিমাণকে ঐ বায়ুর আর্দ্রতা বা পরম আর্দ্রতা বলে।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity)

আবহাওয়ার অবস্থা জানিবার পক্ষে বায়ুতে অবস্থিত প্রকৃত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ অপেক্ষা বায়ুর সম্পৃক্তির মাত্রা (degree of saturation) অধিকতর প্রয়োজনীয়। বায়ুর সম্পৃক্তির মাত্রাকেই আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

বায়ুমণ্ডলের কোনও নির্দিষ্ট আয়তনে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর এবং সেই আয়তনকে একই উষ্ণতায় সম্পৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভরের অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{সেই আয়তনের বায়ুকে একই উষ্ণতায় সম্পৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}।$$

আপেক্ষিক আর্দ্রতা সাধারণতঃ শতকরা হারে প্রকাশ করা হয়। উপরোক্ত অনুপাতকে 100 দ্বারা গুণ করিলে আপেক্ষিক আর্দ্রতার শতকরা হার পাওয়া যায়।

খবরের কাগজে দৈনিক আবহাওয়ার সংবাদে লক্ষ্য করিয়া দেখিবে আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান দেওয়া থাকে। মনে কর কোনও দিনের আবহাওয়া সংবাদে লেখা আছে আপেক্ষিক আর্দ্রতা 76%। ইহার অর্থ কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করিতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন, সেই দিন উহার শতকরা 76 ভাগ জলীয় বাষ্প বায়ুতে আছে।

আবার কোনও নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর উহার চাপের সমানুপাতিক। সুতরাং আমরা লিখিতে পারি

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{বায়ুতে জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর সেই উষ্ণতায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100$$

বায়ুমণ্ডল শীতল হইলে উহার জলীয় বাষ্পের চাপের কোনও পরিবর্তন হয় না। উষ্ণতা কমিয়া যখন শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প সম্পৃক্ত হয় কিন্তু চাপের কোনও পরিবর্তন হয় না। সুতরাং কোনও উষ্ণতায় বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান।

সুতরাং উপরিলিখিত অনুপাতের লব পরিবর্তন করিয়া আমরা লিখিতে পারি,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100$$

উদাহরণ :

মনে কর কোনও স্থানে বায়ুর উষ্ণতা 15°C এবং সেই সময় উহার শিশিরাঙ্ক 9°C। আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিতে হইবে।

জলীয় বাষ্পচাপের তালিকা হইতে জানা যায়,

15°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ = 12·8 মিলিমিটার

(অর্থাৎ 12·8 মি. মি. উচ্চ পারদস্তম্ভের চাপের সমান)

9°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ = 8·6 মিলিমিটার

$$\therefore \quad \text{আপেক্ষিক আদ্রতা} = \frac{8·6}{12·8} \times 100\% = 67\%$$

অতএব শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে পারিলে রেণোর তালিকার সাহায্যে উল্লিখিত উপায়ে আপেক্ষিক আদ্রতা গণনা করা যায়।

76. আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়—হাইগ্রোমিটার (Determination of relative humidity—hygrometers)

হাইগ্রোমিটার নামক যন্ত্রের সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়। বিভিন্ন প্রকারের হাইগ্রোমিটার আছে।

(1) রেণোর হাইগ্রোমিটার (Regnault's hygrometer)

বর্ণনা : রেণোর হাইগ্রোমিটার 38নং চিত্রে প্রদর্শিত হইয়াছে। A একটি চওড়া টেস্ট-টিউব। টেস্ট-টিউবের নিম্নাংশ রূপার তৈয়ারী। ইহার উপরে আঁটা ছিপির মধ্য দিয়া একটি কাচের নল C ও একটি থার্মমিটার টেস্ট-টিউবের নীচ পর্যন্ত ঢুকাইয়া দেওয়া হইয়াছে। A নলের পার্শ্ব হইতে নির্গত একটি নল অ্যাস্পিরেটর (Aspirator) নামক বায়ুশোষক যন্ত্রের সঙ্গে রবারের নল দ্বারা সংযুক্ত।

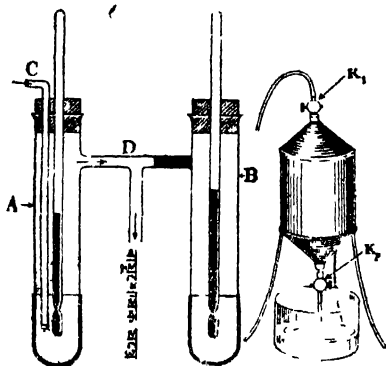



Fig 38 রেণোর হাইগ্রোমিটার

Fig 39 বায়ুশোষক যন্ত্র

[অ্যাস্পিরেটর 39নং চিত্রে পৃথক্ ভাবে দেখান হইয়াছে। ইহা একটি ধাতব চোঙ। চোঙের উপর ও নীচের দিকে দুইটি নল সংযুক্ত। এই নল দুইটির মুখ

যথাক্রমে K_1 ও K_2 স্টপকক দ্বারা খোলা অথবা বন্ধ করা যায়। K_1 স্টপককটি খুলিয়া চোঙটি জলপূর্ণ করা হয়। তারপর K_2 অল্প খুলিয়া দিলে নীচের নল দিয়া জল পড়িতে থাকে এবং চোঙের মধ্যে জলের উচ্চতা ধীরে ধীরে কমিতে থাকে। সঙ্গে সঙ্গে জলের স্থান পূর্ণ করিবার জন্য উপরের নলের ভিতর দিয়া বায়ু প্রবেশ করে।]

A টেস্ট-টিউবের পাশে আর একটি অনুরূপ টেস্ট-টিউব B আছে। A ও B টেস্ট-টিউব যদিও D নল দ্বারা যুক্ত, তথাপি উহাদের মধ্যে কোনও যোগাযোগ নাই। B টেস্ট-টিউবের মধ্যেও একটি থার্মমিটার আছে। এই থার্মমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা মাপা হয়।

কার্যপ্রণালী : A টেস্ট-টিউবের রূপার অংশ ঈথার-পূর্ণ করিয়া অ্যাস্পিরেটরটির স্টপকক K_1 ও K_2 খুলিয়া দেওয়া হয়। ইহার ফলে অ্যাস্পিরেটরের মধ্যে জলের উচ্চতা কমিতে থাকে এবং সঙ্গে সঙ্গে C ও D নলের ভিতর দিয়া বায়ু অ্যাস্পিরেটরে প্রবেশ করে। বায়ু C নলের ভিতর দিয়া প্রবেশ করিবার পর ঈথারকে আলোড়িত করিয়া A নল হইতে নির্গত হয়। বায়ুদ্বারা আলোড়িত হইবার ফলে ঈথার দ্রুত বাষ্পীভূত হয় এবং ঠাণ্ডা হয়। সঙ্গে সঙ্গে টেস্ট-টিউবের নীচের অংশও ঠাণ্ডা হইতে থাকে এবং রূপা সুপরিবাহী বলিয়া ইহার সংলগ্ন বায়ুমণ্ডলের বায়ুর উষ্ণতাও কমিতে থাকে। উষ্ণতা যখন শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন টেস্ট-টিউবের রূপার অংশের বাহিরের দিকে বিন্দু বিন্দু জল জমিয়া রূপার উজ্জ্বলতা ম্লান করিয়া দেয়। পাশের টেস্ট-টিউবের নীচের অংশের সঙ্গে তুলনা করিলেই পার্থক্য ধরা পড়ে। ঠিক এই মুহূর্তে A টেস্ট-টিউবের থার্মমিটারের পাঠ t_1 C লইয়া অ্যাস্পিরেটরের K_2 স্টপকক বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ইহার ফলে বায়ুশোষণ বন্ধ হয় এবং রূপার পাতের উষ্ণতা বাড়িতে থাকে ও এক সময় ইহার উপর ঘনীভূত শিশির বাষ্পীভূত হইয়া অদৃশ্য হয়। ঠিক এই সময় পুনরায় থার্মমিটারের পাঠ t_2°C লওয়া হয়। t_1°C ও t_2°C উষ্ণতার গড় $\frac{t_1+t_2}{2}$°C $= t$°C-কে বায়ুর শিশিরাঙ্ক ধরা হয়।

B টেস্ট-টিউবের থার্মমিটারের পাঠ হইতে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা জানা যায়।

এইরূপে শিশিরাঙ্ক ও বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা জানিয়া জলীয় বাষ্পচাপের তালিকার সাহায্যে সহজেই আপেক্ষিক আর্দ্রতা গণনা করা যায়।

(2) ম্যাসনের আর্দ্র এবং শুষ্ক-বালব হাইগ্রোমিটার (Mason's wet and dry bulb hygrometer)

এই হাইগ্রোমিটারের প্রধান অংশ দুইটি থার্মমিটার। থার্মমিটার দুইটিকে একটি কাঠের ফ্রেমে পাশাপাশি উল্লম্ব ভাবে রাখা হয় (40নং চিত্র)। একটি থার্মমিটারের বাল্‌বকে পলিতা দ্বারা জড়ান হয় এবং পলিতার নীচের অংশ একটি বাটির মধ্যে রক্ষিত পরিষ্কার জলে ডুবান থাকে। পলিতা বাহিয়া জল উঠিবার ফলে ঐ থার্মমিটারের বাল্‌বটি সব সময় আর্দ্র থাকে। এই থার্মমিটারকে আর্দ্র-বাল্‌ব থার্মমিটার বলা হয়। অপরটি শুষ্ক-বাল্‌ব থার্মমিটার।

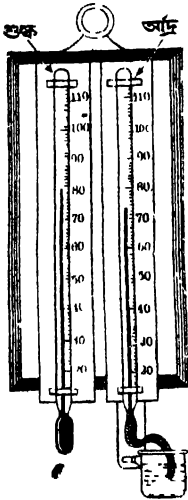



Fig 40—শুষ্ক ও আর্দ্র-বাল্‌ব হাইগ্রোমিটার

ভিজা পলিতা হইতে সর্বদা বাষ্পীভবনের ফলে আর্দ্র-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা হইতে কম থাকে এবং শুষ্ক-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ হইতে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা জানা যায়। আর্দ্র-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ বাষ্পীভবনের হারের (rate) উপর নির্ভর করে। বাষ্পীভবন দ্রুত হইলে আর্দ্র-বাল্‌ব থার্মমিটারের উষ্ণতা বেশী হ্রাস পায় এবং বাষ্পীভবন ধীরে হইলে উষ্ণতা কম হ্রাস পায় কিন্তু শুষ্ক-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ ইহা দ্বারা পরিবর্তিত হয় না। আবার ভিজা পলিতা হইতে বাষ্পীভবন বায়ুমণ্ডলের আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। সুতরাং শুষ্ক-বাল্‌ব ও আর্দ্র-বাল্‌বের পাঠের পার্থক্য হইতে বায়ুমণ্ডলের হাইগ্রোমিতীয় (hygrometic) অবস্থা সম্বন্ধে অনুমান করা যায়। এই পার্থক্যের বৃদ্ধি বায়ুমণ্ডলের আপেক্ষিক আর্দ্রতাহ্রাসের এবং এই পার্থক্যের হ্রাস আপেক্ষিক আর্দ্রতাবৃদ্ধির সূচক (indicator)।

77. গ্লেশারের সূত্র (Glaisher's Formula)

এই সূত্রের সাহায্যে শুষ্ক-বাল্‌ব ও আর্দ্র-বাল্‌ব থর্মামিটারের পাঠ হইতে শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

সূত্রটি এই— $t_1 - t = F(t_1 - t_2)$

[t_1 = শুষ্ক-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ,
t_2 = আর্দ্র-বাল্‌ব থার্মমিটারের পাঠ,
t = ঐ সময়ে শিশিরাঙ্ক,
F = গ্লেশীরের ধ্রুবক]

F-এর মান জানা থাকিলে শিশিরাঙ্ক গণনা করা যায় এবং রেগোর তালিকার সাহায্যে পূর্বে উল্লিখিত উপায়ে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়।

78. বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা ও শুষ্কতা (Feeling of dampness and dryness)

বায়ুমণ্ডলের শুষ্কতা এবং আর্দ্রতা কেবলমাত্র বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের মোট পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। ইহা প্রধানতঃ নির্ভর করে জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্তির মাত্রার উপর অর্থাৎ আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর। চৈত্রের দ্বিপ্রহরে প্রচণ্ড গরমে বায়ু আমাদের কাছে শুষ্ক বলিয়া মনে হয়, কারণ আপেক্ষিক আর্দ্রতা তখন খুব কম অর্থাৎ বায়ুর উষ্ণতা ও শিশিরাঙ্কের মধ্যে পার্থক্য খুব বেশী থাকে। কিন্তু শীতের কুয়াশাচ্ছন্ন দিনে বায়ুকে আর্দ্র বলিয়া মনে হয়, কারণ বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প তখন প্রায় সম্পৃক্ত থাকে অর্থাৎ আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব বেশী থাকে। অথচ মাপিলে দেখা যাইবে নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ শীতের সকাল অপেক্ষা চৈত্রের দুপুরে অনেক বেশী।

শুষ্ক বায়ুতে বাষ্পীভবন দ্রুত হয় এবং আর্দ্র বায়ুতে বাষ্পীভবন ধীরে হয়। এজন্য বর্ষাকালের আর্দ্র বায়ুতে ভিজা কাপড়-চোপড় শুকাইতে দেরি হয় কিন্তু গরমের শুষ্ক বায়ুতে খুব তাড়াতাড়ি শুকাইয়া যায়। বাষ্পীভবন অবশ্য আপেক্ষিক আর্দ্রতা ব্যতীত বায়ুস্রোতের উপরও নির্ভর করে।

গরমের দিনে গুমোট হইলে শরীরে ঘাম হয় এবং অত্যন্ত অস্বস্তি বোধ হয়। ইহার কারণ গুমোট হইলে বায়ুমণ্ডল শীঘ্রই জলীয় বাষ্পে সম্পৃক্ত হইয়া যায় এবং শরীরের ঘাম দ্রুত বাষ্পীভূত হইয়া শরীরকে ঠাণ্ডা রাখিতে পারে না। এজন্য ঘরের ভিতর দিয়া বায়ু-সঞ্চালনের উপযুক্ত ব্যবস্থা রাখা প্রয়োজন।

79. বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের সহিত সংশ্লিষ্ট কতিপয় প্রাকৃতিক ঘটনা (Some natural phenomena associated with water vapour in he atmosphere)

শিশির

দিনের বেলা সূর্যের তাপে ভূপৃষ্ঠ উত্তপ্ত হয় এবং রাত্রিতে উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করিয়া শীতল হয়। ভূপৃষ্ঠ শীতল হইতে থাকিলে উহার সংলগ্ন বায়ুও শীতল হইতে থাকে। উষ্ণতা কমিতে কমিতে শিশিরাঙ্কে পৌঁছিলে বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া শিশিরে পরিণত হয়। গাছের পাতা ও ঘাসের উপর শিশিরপাত বেশী হয়, কারণ ঐ সকল স্থান হইতে তাপের বিকিরণ বেশী হয়। মসৃণ ধাতব পদার্থ হইতে তাপের বিকিরণ কম হয় বলিয়া ঐরকম স্থানে শিশিরের উৎপত্তিও কম হয়।

শিশিরপাতের জন্য নির্মল আকাশ প্রয়োজন, আকাশ মেঘাচ্ছন্ন থাকিলে শিশিরপাত হয় না। ইহার কারণ আকাশ মেঘাচ্ছন্ন থাকিলে ভূপৃষ্ঠ হইতে তাপ-বিকিরণে বাধা হয়।

বায়ুপ্রবাহ শিশিরপাতের পক্ষে অন্তরায়, কারণ বায়ুপ্রবাহের ফলে বাষ্পীভবন হইবার সম্ভাবনা থাকে।

কুহেলিকা ও কুয়াশা (Mist and Fog)

অনেক সময় ভূপৃষ্ঠের সংলগ্ন বিস্তীর্ণ অঞ্চলের বায়ু এত শীতল হইয়া পড়ে যে, উহাতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পদ্বারা ঐ বায়ু সম্পৃক্ত হয়। বায়ুর উষ্ণতা আর একটু কমিলে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় পরিণত হয়। ইহারাই বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণার উপর জমা হইয়া কুহেলিকা কিংবা কুয়াশার সৃষ্টি করে। এই ভাসমান জলকণার সমষ্টি ঘন সন্নিবিষ্ট হইলে উহাকে কুয়াশা বলে এবং হাল্কা হইলে উহাকে কুহেলিকা বলে।

শিশিরপাতের মত কুয়াশাসৃষ্টির পক্ষেও বায়ুপ্রবাহ অন্তরায়।

মেঘ (Cloud)

বায়ুমণ্ডলের উচ্চস্তরে যে কুয়াশার সৃষ্টি হয় তাহাই মেঘ। ভূপৃষ্ঠ হইতে জলীয় বাষ্পপূর্ণ উত্তপ্ত বায়ু উপর দিকে উঠে। উপরে উঠিবার ফলে এই বায়ু শীতল হয়।

শীতল হইবার কারণ দুইটি—(১) উপরের স্তরের শীতল বায়ুর সংস্পর্শ ও (২) চাপ হ্রাস হইবার ফলে আয়তনবৃদ্ধি। শীতলতা যখন শিশিরাঙ্কের নীচে পৌঁছায় তখন ঐ বায়ুর মধ্যস্থিত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় পরিণত হয়। ইহারা বায়ুমণ্ডলের উচ্চস্তরে ভাসমান ধূলিকণা আশ্রয় করিয়া মেঘের আকারে ভাসিয়া বেড়ায়।

বৃষ্টি (Rain)

উষ্ণতাহ্রাসের ফলে অনেক সময় মেঘের মধ্যে অবস্থিত কতকগুলি জলকণা একত্রিত হইয়া বৃহত্তর জলবিন্দুর সৃষ্টি করে। তখন উহারা আর বায়ুমণ্ডলে ভাসিয়া থাকিতে পারে না, অভিকর্ষের ফলে বৃষ্টিরূপে ভূপৃষ্ঠের দিকে পতিত হয়।

80. বিভিন্ন উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ (সম্পৃক্ত চাপ)

নীচে বিভিন্ন উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পচাপের একটি তালিকা দেওয়া হইল।

উষ্ণতা (°C)-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
চাপ মি. মি.—	4·6	4·9	5·3	5·7	6·1	6·5	7·0	7·5	8·0	8·6	9 2
উষ্ণতা (°C)—	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
চাপ মি. মি.—	9·8	10·5	11 2	12·0	12 8	13·6	14·5	15·5	16·5	17·5	

অনুশীলনী

1 Define—Dewpoint, Relative humidity How can the relative humidity at a given place be calculated by knowing the dewpoint ?

সংজ্ঞা লিখ—শিশিরাঙ্ক, আপেক্ষিক আর্দ্রতা। কোনও স্থানের শিশিরাঙ্ক হইতে কি উপায়ে আপেক্ষিক আর্দ্রতা গণনা করা হয় ?

2 Describe Regnault's hygrometer How is it used to determine relative humidity and dewpoint ?

রেগোর হাইগ্রোমিটার বর্ণনা কর। ইহা দ্বারা আপেক্ষিক আর্দ্রতা ও শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিবার প্রণালী বর্ণনা কর।

3. Describe a wet and dry bulb hygrometer. Write what you know about its use.

একটি আর্দ্র ও শুষ্ক-বাল্ব হাইগ্রোমিটার বর্ণনা কর। ইহার ব্যবহার ও উপযোগিতা সম্বন্ধে যাহা জান লিখ।

4. Comment on the following statements :—

(a) On a hot day one feels very uneasy at Puri but not so in Delhi though the temperature may be same at both the places.

(b) Average temperature during the rainy season is higher than that in the winter Still wet clothes dry up more quickly in winter than in the rainy season.

নিম্নলিখিত উক্তিগুলির তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর :—

(ক) গরমের দিনে পুরীর আবহাওয়া অত্যন্ত অস্বস্তিকর কিন্তু ঐ একই উষ্ণতায় দিল্লীর আবহাওয়া তত অস্বস্তিকর নহে।

(খ) বর্ষাকালের স্বাভাবিক উষ্ণতা শীতকালের উষ্ণতা অপেক্ষা বেশী, তথাপি ভিজা কাপড় বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে তাড়াতাড়ি শুকায়।

5. Explain the formation of dews Dew is copiously formed on grass blades but not so on a piece of glass Why ?

শিশিরের উৎপত্তি হয় কিভাবে ? ঘাসের উপর প্রচুর পরিমাণে শিশিরপাত হয় কিন্তু একখণ্ড মসৃণ কাচের উপর তেমন শিশিরপাত হয় না। কেন ?

6. How clouds are formed ? What is the difference between mist and fog ?

মেঘসৃষ্টির কারণ সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। কুয়াশা ও কুহেলিকার মধ্যে পার্থক্য কি ?

অষ্টম অধ্যায়

তাপ-সঞ্চালন

(Transmission of Heat)

থার্মোমিতি অধ্যায়ে বলা হইয়াছে এবং আমরা পরীক্ষা করিয়াও দেখিয়াছি যে, তাপ উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে প্রবাহিত হয়। কিন্তু তাপের সঞ্চালন প্রণালী সম্বন্ধে কোনও আলোচনা করা হয় নাই। বর্তমান অধ্যায়ে আমরা সেই সম্বন্ধে কিছু কিছু আলোচনা ও পরীক্ষা করিব।

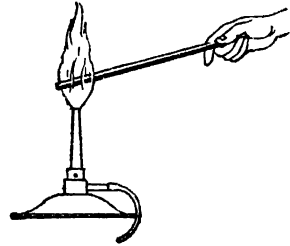
তিন প্রকার পদ্ধতিতে তাপের সঞ্চালন হয়, যথা—পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ। আমরা একে একে এই তিনপ্রকার পদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচনা করিব।

A. *পরিবহণ* (Conduction)

81. পরিবহণ

পরীক্ষা : একটি লৌহদণ্ড বা চামচের একপ্রান্ত হাতে ধরিয়া অপর প্রান্ত একটি বার্ণারের জ্বলন্ত শিখার মধ্যে রাখ। কিছুক্ষণের মধ্যে লৌহদণ্ড বা চামচ এত গরম হইয়া যাইবে যে হাতে আর ধরিয়া রাখিতে পারিবে না।

Fig 41—তাপের পরিবহণ

এ ক্ষেত্রে অগ্নিশিখা হইতে তাপ লৌহদণ্ড বা চামচের এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে সঞ্চালিত হইয়াছে কিন্তু দৃশ্যতঃ লৌহদণ্ড বা চামচের ভিতর দিয়া কোন পদার্থের স্থানান্তর হয় নাই। তাপ-সঞ্চালনের এই প্রণালীকে প রি ব হ ণ বলে। প্রথমতঃ লৌহদণ্ড বা চামচের যে অংশ জ্বলন্ত শিখায় অবস্থিত সেই অংশের কণাগুলি উত্তপ্ত হয়। এই কণাগুলির সংস্পর্শে পরবর্তী অংশের কণাগুলি উত্তপ্ত হয়, আবার উহাদের সংস্পর্শে তৎপরবর্তী অংশের কণাগুলিও উত্তপ্ত হয়; এইরূপে তাপ একপ্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে প্রবাহিত হইয়া সমগ্র লৌহ-দণ্ড বা চামচটিকে উত্তপ্ত করে। এইরূপে পরিবহণ প্রণালীতে তাপ সঞ্চালিত হয়।

সুতরাং আমরা বলিতে পারি, যে প্রণালীতে তাপ পদার্থের ভিতর দিয়া উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে সঞ্চালিত হয় কিন্তু পদার্থের কণাগুলির দৃশ্যতঃ কোনও

স্থান পরিবর্তন হয় না, সেই প্রণালীকে পরিবহণ বলে। সাধারণতঃ পরিবহণ কঠিন পদার্থের মধ্যে পরিলক্ষিত হয়।

82. তাপ-পরিবাহিতা (Thermal conductivity)

সকল পদার্থের ভিতর দিয়া তাপ সমভাবে পরিবাহিত হয় না। পদার্থের যে গুণ বা ধর্মের জন্য পদার্থের ভিতর দিয়া তাপ পরিবাহিত হয়, সেই ধর্ম বা গুণকে তাপ-পরিবাহিতা বলে। সাধারণতঃ কঠিন, বিশেষতঃ ধাতব পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা বেশী, তরল পদার্থের পরিবাহিতা কম এবং গ্যাসীয় পদার্থের পরিবাহিতা আরও কম।

তাপ-পরিবাহিতা-অনুসারে পদার্থসমূহকে সাধারণতঃ দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়, যথা—সুপরিবাহী (good conductor) ও কুপরিবাহী (bad conductor)।

যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া সহজে তাপ পরিবাহিত হয় তাহারা সুপরিবাহী ; যেমন—রৌপ্য, তাম্র, লৌহ, পারদ প্রভৃতি ধাতু।

যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া সহজে তাপ পরিবাহিত হয় না তাহারা কুপরিবাহী ; যেমন—কাঠ, কাচ, রবার, পশম, অধিকাংশ তরল পদার্থ ও গ্যাসীয় পদার্থ।

83. বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা বিভিন্ন—ইনজেনহাউজের পরীক্ষা (Different substances have different thermal conductivity—Ingenhausz's experiment)

বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতার বিভিন্নতা ইনজেনহাউজের পরীক্ষায় সুন্দররূপে দেখান যায়। এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রের গঠন অত্যন্ত সরল (42নং চিত্র)। P একটি আয়তাকার (6″ × 2″ × 4″) ধাতব পাত্র (টিনের পাত্র সহজেই তৈয়ারি করিয়া লওয়া যায়)। পাত্রটির এক পার্শ্বে সমান দূরে দূরে কতকগুলি ছিদ্র করা আছে এবং প্রত্যেকটি ছিদ্রের মধ্যে সচ্ছিদ্র কর্ক আঁটা আছে। যে সকল পদার্থের তাপ-পরিবাহিতার বিভিন্নতা পরীক্ষা করিতে হইবে তাহাদের তৈয়ারী সমান দৈর্ঘ্য ও ব্যাস বিশিষ্ট চোঙাকৃতি দণ্ড (rod) লইতে হয়।

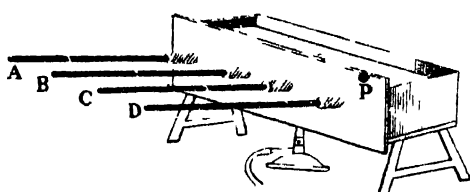



Fig 42—ইনজেনহাউজের পরীক্ষা

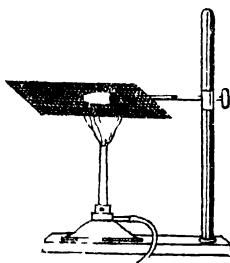
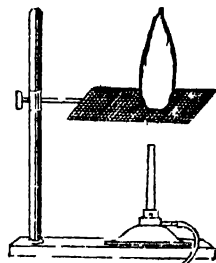
পরীক্ষা ঃ তাম্র, অ্যালুমিনিয়ম, লৌহ ও কাচ, এই চারি পদার্থের চারিটি দণ্ড যথাক্রমে A, B, C, D লও। একটি পাত্রের মধ্যে গলন্ত মোমে ডুবাইয়া উহাদের চারিদিকে একটি পাতলা মোমের আবরণ দাও। প্রত্যেকটি দণ্ডে আবরণটি সমান পুরু হওয়া দরকার। তারপর দণ্ডগুলি P পাত্রের পার্শ্বের ছিদ্রে কর্কের ভিতর দিয়া পর পর এমন ভাবে ঢুকাইয়া দাও যেন প্রত্যেক দণ্ডের সমান দৈর্ঘ্য পাত্রের বাহিরে থাকে। P পাত্রটি জলে ভর্তি কর এবং একটি ইলেক্‌ট্রিক হিটার অথবা গ্যাসের সাহায্যে জল ফুটাও। (অন্যথায় অন্য একটি পাত্রে জল ফুটাইয়া ফুটন্ত জল P পাত্রে ঢাল, যেন দণ্ডগুলির ভিতরের প্রান্ত জলে ডুবিয়া যায়।) কিছুকালের মধ্যেই দেখা যাইবে যে, দণ্ডগুলির মোমের আবরণ গলিতে শুরু করিয়াছে। শেষ পর্যন্ত দেখা যাইবে, তাম্রদণ্ডের আবরণ সর্বাপেক্ষা বেশী দূর অবধি গলিয়াছে এবং তারপর যথাক্রমে অ্যালুমিনিয়ম, লৌহ ও কাচদণ্ডের আবরণ গলিয়াছে।

পরিবাহিতা যত বেশী হয় মোম তত বেশীদূর অবধি গলে। প্রকৃতপক্ষে কোনও পদার্থের পরিবাহিতা ঐ দৈর্ঘ্যের (অর্থাৎ মোম গলার দূরত্ব) বর্গের সমানুপাতিক। সুতরাং উপরের পরীক্ষায় প্রমাণিত হইল যে, ঐ চারিটি পদার্থের মধ্যে তাম্রের পরিবাহিতা সর্বাপেক্ষা বেশী, তারপর অ্যালুমিনিয়ম, তারপর লৌহ এবং কাচের পরিবাহিতা সর্বাপেক্ষা কম।

84. সুপরিবাহিতা ও কুপরিবাহিতার দৃষ্টান্ত

(1) **বুনসেন বার্ণার ও তারের জালের পরীক্ষা ঃ** একটি জলন্ত বুনসেন বার্ণারের শিখার মাঝামাঝি স্থানে ঠিক বার্ণারের মুখের উপর (43নং চিত্র) একটি তামার তারের জাল (wire gauge) আড়াআড়ি ভাবে স্থাপন কর। দেখিবে শিখাটি তামার তারের জালের নীচে জলিতেছে—

Fig 43

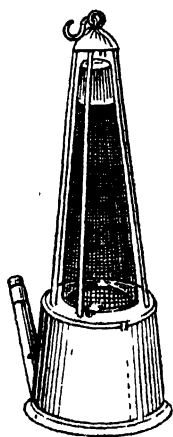
Fig 44

বুনসেন বার্ণার ও তারের জালের পরীক্ষা

জাল ভেদ করিয়া উপরে উঠিতেছে না। ইহার কারণ তামা সুপরিবাহী বলিয়া শিখার উত্তাপ জালের নীচের তলে ছড়াইয়া পড়ে এবং ইহার ফলে জালের

উপরিস্থিত গ্যাসের উষ্ণতা জ্বলনবিন্দু (ignition point) অবধি পৌঁছাইতে পারে না। সেজন্য জালের উপরে গ্যাস জ্বলে না। এখন বার্ণারটি নিভাইয়া পুনরায় গ্যাসের মুখ খুলিয়া দাও। দেশলাইয়ের কাঠি জ্বালাইয়া জালের উপরে ধর। দেখিবে জালের উপরে গ্যাস জ্বলিতেছে (44নং চিত্র) কিন্তু নীচে কোনও অগ্নিশিখা নাই। এ ক্ষেত্রে জালের উপরে জ্বলন্ত গ্যাসের তাপ জালের উপরতলে ছড়াইয়া পড়ে বলিয়া নীচের গ্যাসের উষ্ণতা জ্বলনবিন্দুতে পৌঁছিতে পারে না।

(2) ডেভির নিরাপত্তা বাতি (Davy's safety lamp)

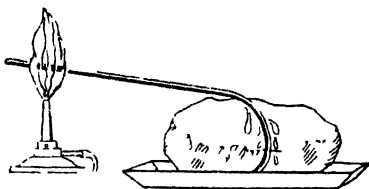
অনেক কয়লার খনিতে বিস্ফোরক গ্যাস থাকে। এই গ্যাস অগ্নিশিখার সংস্পর্শে আসিলে জ্বলিয়া ওঠে এবং মারাত্মক দুর্ঘটনার কারণ হয়। এইরূপ দুর্ঘটনা নিবারণের জন্য ইংলণ্ডের প্রসিদ্ধ বিজ্ঞানী সার্ হাম্‌ফ্রি ডেভি খনির ভিতরে ব্যবহারের জন্য একপ্রকার বাতি আবিষ্কার করিয়াছিলেন। এই বাতিই ডেভির নিরাপত্তা বাতি নামে খ্যাত। উপরে তামার সুপরিবাহিতার যে দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল তাহার উপরে ভিত্তি করিয়াই এই বাতি তৈয়ারী।

Fig 45
ডেভির নিরাপত্তা বাতি

ইহা একটি তেলের বাতি। বাতির শিখার চারিদিক ঠাসবুনানী তামার তারের জাল দিয়া ঘেরা। তামার তার সুপরিবাহী বলিয়া বাতির শিখার তাপ জালের মধ্যে ছড়াইয়া পড়ে—জালের বাহিরে যাইতে পারে না। ইহাতে বাহিরে বিস্ফোরক গ্যাস থাকিলেও তাহা জ্বলিয়া ওঠে না। গ্যাস অবশ্য জালের ভিতর দিয়া ঢুকিতে পারে। গ্যাস ঢুকিলে বাতির শিখার রং বদলায়। সেই রং দেখিয়া লোকেরা বিস্ফোরক গ্যাস সম্বন্ধে সাবধান হইতে পারে।

(3) পরিবাহিত তাপে বরফ-গলন

পরীক্ষা ঃ একটি মোটা তামার তার দিয়া একখণ্ড বরফকে জড়াও।

Fig 46—পরিবাহিত তাপে বরফ-গলন

তারটির একপ্রান্ত বুনসেন বার্ণারে উত্তপ্ত কর। দেখিবে অনতিবিলম্বে বরফ দ্রুত

গলিতে শুরু করিয়াছে। বুনসেন বার্ণার হইতে তাপ তামার তারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া বরফকে গলাইতেছে।

এই পরীক্ষাতেও তামার তারের সুপরিবাহিতা প্রমাণিত হইল।

(4) কাগজের পাত্রে জল ফুটান

পরীক্ষা : খুব পাতলা কাগজ দিয়া একটি ছোট ঠোঙ্গা বা দোয়াত তৈয়ারি কর। উহার ভিতর কিছু জল লইয়া একটি বুনসেন বার্ণারের মৃদু শিখার উপর বসাইয়া দাও (47নং চিত্র)। কিছুক্ষণ পরে দেখিবে জল অত্যন্ত উষ্ণ হইয়াছে, এমন কি ফুটিতেছে, কিন্তু কাগজ পুড়িতেছে না।

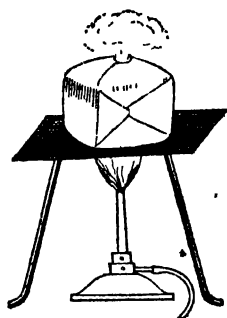



Fig 47
কাগজের পাত্রে জল ফুটান

যদিও কাগজ কুপরিবাহী তথাপি অত্যন্ত পাতলা বলিয়া কাগজ এখানে সুপরিবাহীর মত কাজ করিতেছে। বুনসেন শিখা হইতে তাপ কাগজের ভিতর দিয়া দ্রুত জলের মধ্যে চলিয়া যাওয়ায় কাগজের উষ্ণতা জ্বলনবিন্দুতে পৌঁছিতে পারিতেছে না। এই পরীক্ষাটি একটি পুরু কাগজ লইয়া করিলে দেখিতে পাইবে কাগজ পুড়িয়া যাইবে।

(5) তামার তারের কুণ্ডলী ও মোমবাতির পরীক্ষা

Fig 48

এই সহজ পরীক্ষাটি দ্বারাও তামার সুপরিবাহিতা সুন্দর রূপে দেখান যায়। প্রায় অর্ধ ইঞ্চি ব্যাস বিশিষ্ট ৭।৮ ইঞ্চি দীর্ঘ একটি তামার তারের কুণ্ডলী তৈয়ারি কর। ঐ কুণ্ডলীটি একটি জ্বলন্ত মোমবাতির শিখার উপর এমনভাবে ধর যেন কুণ্ডলীর নিম্নভাগ শিখাটিকে ঘিরিয়া থাকে। অনতিবিলম্বে শিখাটি নিভিয়া যাইবে। ইহার কারণ শিখা হইতে তাপ তামার তারের ভিতর দিয়া দ্রুত পরিবাহিত হওয়ায় শিখার উষ্ণতা জ্বলনবিন্দুর (ignition point) নীচে নামিয়া যায় এবং ফলে শিখা আর প্রজ্বলিত থাকিতে পারে না।

(6) জলের কুপরিবাহিতা

একটি টেস্ট-টিউবের তিন-চতুর্থাংশ জলে ভর্তি কর। ছোট একটুকরা বরফ কোনও ধাতুখণ্ড বা পাথরে বাঁধিয়া জলের মধ্যে ফেলিয়া দাও। বরফ নীচে পড়িয়া যাইবে (শুধু বরফ দিলে নীচে পড়িবে না— উপরে ভাসিবে)। এইবার টেস্ট-টিউবটি কাত করিয়া ধরিয়া (49নং চিত্র) স্পিরিট ল্যাম্প বা বুনসেন বার্ণারের সাহায্যে উপরিভাগের জল গরম কর। টেস্ট-টিউবের উপরাংশের জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে কিন্তু নীচের জল ঠাণ্ডাই থাকিবে এবং বরফ গলিবে না। ইহার কারণ জল কুপরিবাহী বলিয়া তাপ জলের উপরাংশ হইতে নিম্নাংশে প্রবাহিত হয় না।

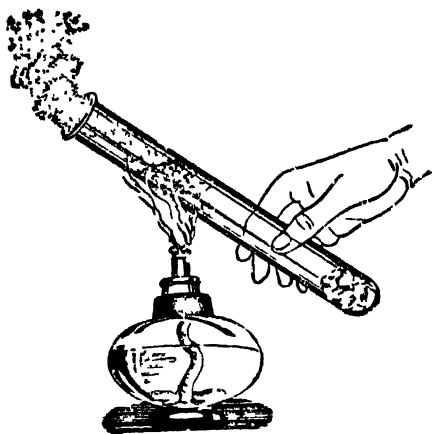



Fig 49—জলের কুপরিবাহিতা

(7) তামার সুপরিবাহিতা ও কাঠের কুপরিবাহিতা

পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষার জন্য একটি প্রায় একফুট লম্বা দণ্ড তৈয়ারি করাইয়া লইতে হইবে যাহার অর্ধেক কাঠের ও অর্ধেক তামার। দণ্ডটির মাঝামাঝি স্থানে প্রায় ছয় ইঞ্চি পরিমাণ জায়গা একটি পাতলা কাগজ দিয়া জড়াও। কাগজের অংশ একটি বুনসেন বার্ণারের শিখায় ধর। দেখিবে কাঠের অংশের উপরের কাগজ পুড়িয়া গিয়াছে কিন্তু তামার অংশের উপরের কাগজ পুড়ে নাই। কাঠ তাপের কুপরিবাহী এবং তামা তাপের সুপরিবাহী বলিয়াই যে এইরূপ হইয়াছে তাহা সহজেই বুঝা যায়।

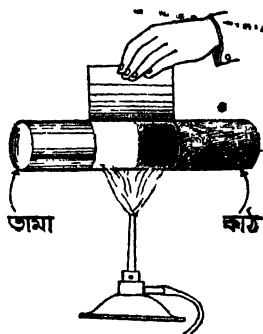



Fig 50—তামার সুপরিবাহিতা ও কাঠের কুপরিবাহিতা

85. তাপের সুপরিবাহিতা ও কুপরিবাহিতার দৈনন্দিন ব্যবহারিক প্রয়োগ

(1) রন্ধনের বাসনাদি সাধারণতঃ পিতল, অ্যালুমিনিয়াম বা লৌহ-নির্মিত হয়। ইহারা তাপের সুপরিবাহী বলিয়া ইহাদের ভিতর দিয়া তাপ সহজে প্রবাহিত হয় এবং শীঘ্র রান্না হয়।

(2) চায়ের কেটলির হাতলে বেত-জাতীয় কুপরিবাহী পদার্থ জড়ান থাকে। কেটলি সুপরিবাহী ধাতুর তৈয়ারী বলিয়া উহার নীচে তাপ দিলে শীঘ্রই হাতলসুদ্ধ সমগ্র কেটলি এত উত্তপ্ত হইয়া ওঠে যে হাতল ধরা যায় না। বেত জড়ান থাকায় হাতল অনায়াসে ধরা যায়, কারণ হাতলের তাপ কুপরিবাহী বেতের ভিতর দিয়া সহজে হাতে লাগিতে পারে না।

(3) বরফ যাহাতে শীঘ্র না গলিয়া যায় সেজন্য কাঠের গুঁড়া দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয়। কাঠের গুঁড়া কুপরিবাহী বলিয়া ইহা বাহিরের তাপ হইতে বরফকে রক্ষা করে।

(4) শীতবস্ত্র পরিধানের উদ্দেশ্য দেহের তাপকে আটকাইয়া রাখা—বাহিরে যাইতে না দেওয়া। তুলা এবং পশম উভয়ই কুপরিবাহী। এজন্য সূতীর জামা এবং পশমের জামা উভয়ই শীতে দেহের আচ্ছাদন হিসাবে উপযোগী। কিন্তু সূতী অপেক্ষা পশম শীতবস্ত্র হিসাবে অধিকতর উপযোগী। ইহার কারণ পশমের ফাঁকে ফাঁকে অনেক বায়ুস্তর থাকায় ইহার কুপরিবাহিতা বহু গুণ বৃদ্ধি পায়। বায়ু তাপের অত্যন্ত কুপরিবাহী। সূতীর জামার ফাঁকে ফাঁকে পশমের মত বেশী বায়ুস্তর থাকিতে পারে না বলিয়া সূতীর জামা তত কুপরিবাহী নহে।

B. *পরিচলন* (Convection)

86. পরিচলন

পরীক্ষাঃ একটি কাচের ফ্লাস্কে খানিকটা অ্যালুমিনিয়াম গুঁড়া লও (বাজি তৈরি করার মসলার দোকানে অ্যালুমিনিযাম গুঁড়া পাওয়া যায়) এবং তাহার উপর ফ্লাস্কটির প্রায় অর্ধেক ভর্তি করিয়া জল লও। তারপর

ফ্লাস্কটি একটি মৃদু বুনসেন শিখার উপর গরম করিতে থাক। কিছুক্ষণের মধ্যেই দেখা যাইবে—অ্যালুমিনিয়াম গুঁড়া ফ্লাস্কের মাঝখান দিয়া জলের সঙ্গে ফোয়ারার মত উঠিয়া পাশ দিয়া নামিয়া আসিতেছে এবং ফ্লাস্কের সমগ্র জল উত্তপ্ত হইয়া গিয়াছে। বুনসেন দীপ সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে জলের সহিত অ্যালুমিনিয়াম গুঁড়ার স্রোতও বন্ধ হইয়া যাইবে।

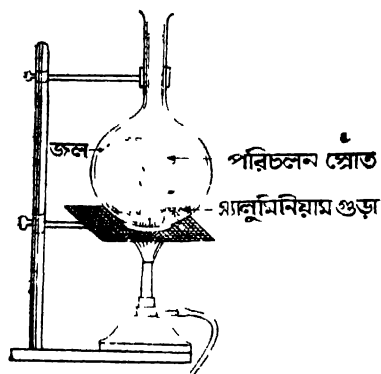



Fig 51—পরিচলন

এখানে প্রশ্ন হইল—ফ্লাস্কের সমগ্র জল উত্তপ্ত হইল কি উপায়ে? আমরা দেখিয়াছি জল কুপরিবাহী। সুতরাং ফ্লাস্কের জলের তলভাগ হইতে উপরিভাগে পরিবহণ প্রণালীতে তাপ সঞ্চালিত হয় নাই। এখানে যে প্রণালীতে তলভাগ হইতে উপরিভাগে তাপ সঞ্চালিত হইয়াছে, তাহাকেই **পরিচলন প্রণালী** বলে।

ইহার ব্যাখ্যা এইরূপ—প্রথমতঃ ফ্লাস্কের তলার জল উত্তপ্ত হয়; উত্তপ্ত হইলে ঘনত্ব কমিয়া জল হাল্‌কা হয় এবং উপরের দিকে ওঠে (সঙ্গে সঙ্গে অ্যালুমিনিয়াম-গুঁড়াও উপরে ওঠে) আর উপরিভাগের অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা ও ঘনতর জল ফ্লাস্কের গা বাহিয়া নামিতে থাকে। এইরূপে জলস্রোত উঠানামার ফলে সমগ্র জল উত্তপ্ত হইয়া ওঠে। এই স্রোতকে পরিচলন স্রোত (Convection current) বলে। সুতরাং আমরা দেখিতেছি এখানে জলের উত্তপ্ত কণাগুলিই তলদেশ হইতে উপরিভাগে তাপ বহন করিয়া লইয়া যাইতেছে। ইহাই পরিচলন পদ্ধতির বিশেষত্ব।

সুতরাং আমরা বলিতে পারি—যে পদ্ধতিতে তাপ কোন পদার্থের কণাসমূহের সঞ্চরণ দ্বারা উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে সঞ্চালিত হয় তাহাকে **পরিচলন পদ্ধতি** বলে।

সাধারণতঃ তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ পরিচলন পদ্ধতিতেই উত্তপ্ত হয় এবং সহজেই বুঝা যায় যে পরিচলন পদ্ধতি কেবলমাত্র তরল ও গ্যাসীয় পদার্থেই সম্ভব—কঠিন পদার্থে নহে। কারণ কঠিন পদার্থের অণুগুলি সঞ্চরণশীল নহে কিন্তু তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলি সঞ্চরণশীল।

87. তাপ পরিচলনের অন্যান্য পরীক্ষা

নিম্নবর্ণিত পরীক্ষাগুলি দ্বারা তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে পরিচলন স্রোত অতি সুন্দরভাবে দেখান যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ 52নং চিত্রানুযায়ী যন্ত্র সন্নিবেশ কর। B একটি ছিপিআঁটা ফ্লাস্ক। C একটি বড় মুখওয়ালা বোতল—বোতলের নীচের অংশ অপসারিত। ইহার মুখটি K_2 কর্ক দ্বারা বন্ধ করিয়া উল্টাইয়া রাখা হইয়াছে। D এবং F দুইটি কাচের নল। লক্ষ্য কর D নলটি বাঁকান এবং ইহার উপরের প্রান্ত C বোতলের মধ্যে সামান্য ঢুকান এবং নীচের প্রান্ত B ফ্লাস্কের প্রায় তলা অবধি নামান। F নলটি সোজা এবং C বোতল ও B ফ্লাস্কের মধ্যে অনেকখানি ঢুকান। B ফ্লাস্কটি একটি ত্রিপদ স্ট্যাণ্ডের উপর দাঁড় করাইয়া এবং C বোতলটি একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ধরিয়া রাখিবার ব্যবস্থা করিয়া B ফ্লাস্কটি সম্পূর্ণ এবং C বোতলের কিছুদূর অবধি জল ভর্তি কর। C বোতলের জলে পটাসিয়াম পারমাঙ্গানেটের কয়েকটি দানা ফেলিয়া দাও।

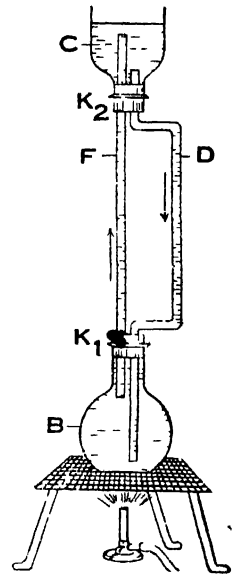



Fig 52—পরিচলন স্রোত

এবার বুনসেন দীপের সাহায্যে B ফ্লাস্কের জল উত্তপ্ত করিলে উত্তপ্ত জল হাল্কা হইয়া সোজা F নল দিয়া C পাত্রে উঠিবে এবং C পাত্রের ঠাণ্ডা ভারী জল (রঙীন) D নল বাহিয়া B ফ্লাস্কে নামিবে। এইরূপে দুইটি বিপরীতমুখী পরিচলন স্রোত পরিষ্কার দেখা যাইবে। কিছুক্ষণ পরে সমস্ত জল রঙীন হইলে পরিচলন স্রোত আর দেখা যাইবে না।

গ্যাসীয় পদার্থে পরিচলন নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে—

পরীক্ষা: একটি অগভীর পাত্রে (যেমন থালা) একটি মোমবাতি দাঁড় করাইয়া জ্বালিয়া দাও এবং পাত্রের মধ্যে খানিকটা জল ঢাল যাহাতে মোমবাতির নীচের অংশ জলে ডুবিয়া থাকে। একটি লম্বা চিমনি দিয়া মোমবাতিটি ঘিরিয়া দাও। দেখিতে পাইবে মোমবাতির শিখা ক্ষীণতর হইতে হইতে অবশেষে নিভিয়া যাইবে। বাতাসের অভাবই মোমবাতি নিভিয়া যাইবার কারণ। চিমনির ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিবার মত নীচের দিকে কোনও ছিদ্র বা পথ নাই (যেমন হারিকেন বা টেবিল ল্যাম্পে থাকে) এজন্য চিমনির ভিতরের বায়ু নিঃশেষিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে মোমবাতি নিভিয়া যায়।

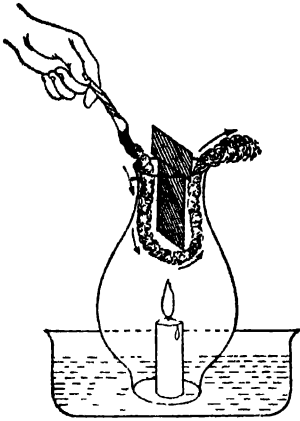



Fig 53—চিমনির মধ্যে পরিচলন

চিমনিটি তুলিয়া লইয়া মোমবাতিটি পুনরায় জ্বালাও এবং চিমনির মুখটিকে একটি T আকৃতির কার্ডবোর্ড দ্বারা দুইভাগে ভাগ করিয়া মোমবাতির উপর চিমনিটি পুনরায় স্থাপন কর। দেখিবে এবার মোমবাতি নিভিবে না। একটি জ্বলন্ত ধূপকাঠি বা অন্য কোনও ধূমট পদার্থ কার্ডবোর্ডের একদিকে ধরিলে দেখিতে পাইবে ধোঁয়া চিমনির একধার দিয়া ঢুকিয়া অন্যধার দিয়া বাহির হইতেছে। ধোঁয়ার গতি হইতে বুঝা যায়, একদিক দিয়া বাহিরের ঠাণ্ডা বাতাস চিমনির মধ্যে ঢুকিতেছে ও অন্যদিক দিয়া গরম বাতাস বাহির হইতেছে। এইভাবে বায়ুর চলাচল অব্যাহত থাকার জন্য বাতি নিভে না।

88. পরিচলন প্রণালীর গার্হস্থ্য প্রয়োগ

ঘরের ভিতর গরম জল চলাচল ব্যবস্থা (Hot water heating & supply system)

শীতপ্রধান দেশে ঘরে ঘরে গরম জল সরবরাহের জন্য ও ঘর গরম রাখিবার জন্য অনেক সময় পরিচলন স্রোতের সাহায্য লওয়া হয়। 54নং চিত্র অনুধাবন করিলে

ব্যবস্থাটি বুঝিতে পারিবে। A নলের ভিতর দিয়া ঠাণ্ডা জল C পাত্রে গিয়া পড়ে। C পাত্রের জল যাহাতে উপচাইয়া না পড়ে সেজন্য A নলের মুখে একটি বলকক্ (Ball cock) K লাগান আছে। C পাত্রটি T নলদ্বারা একটি চোঙাকৃতি পাত্র H-এর সহিত যুক্ত। S এই H পাত্রের সহিত যুক্ত একটি নিরাপত্তা নল (Safety tube)। E ও D নল দুইটির দ্বারা বয়লার ও H পাত্র সংযুক্ত।

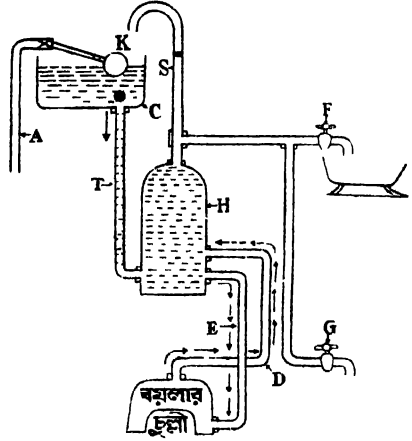



Fig. 54—ঘরের ভিতর গরম জল সরবরাহ

C পাত্র হইতে ঠাণ্ডা জল H পাত্রে আসে এবং সেখান হইতে E নলের ভিতর দিয়া বয়লারে যায়। বয়লার হইতে উত্তপ্ত জল D নলের ভিতর দিয়া H পাত্রে গিয়া জমা হয় এবং সেখান হইতে শাখানলের ভিতর দিয়া বিভিন্ন ঘরে যায়। ঘরের মধ্যস্থ F ও G কলের মুখ খুলিলে গরম জল পাওয়া যায়। এই কলগুলি বন্ধ থাকিলে নিরাপত্তা নল S-এর মধ্যে খানিকটা জল উঠিয়া যায়।

[**বলককের কার্য ঃ** K বলকক্ একটি ফাঁপা ধাতুর বল—C পাত্রে জলের উপর ভাসিতে থাকে। C পাত্রে জলের উচ্চতা নির্দিষ্ট সীমানার উপর বাড়িলেই জলের ঠেলায় বলটি উপরে উঠিয়া A নলের মুখ বন্ধ করিয়া দেয়—আর জল পড়িতে পারে না। C পাত্রের জল কমিয়া গেলে বলককটি নীচে নামিয়া যায়, A নলের মুখ খুলিয়া যায় এবং পুনরায় C পাত্রে জল পড়ে।]

89. ঘরের ভিতরে বায়ুচলাচল (Ventilation)

পরিচলন প্রক্রিয়ায় ঘরের মধ্যে বায়ুচলাচল হয়। মানুষের অবস্থিতি ও শ্বাসপ্রশ্বাসের জন্য যে তাপ সৃষ্টি হয় সেই তাপে ঘরের বাতাস উত্তপ্ত হইয়া উপর দিকে ওঠে এবং ঘুলঘুলির ভিতর দিয়া বাহিরে যায়। সঙ্গে সঙ্গে বাহিরের ঠাণ্ডা

বাতাস জানালা ও দরজার ভিতর দিয়া ঘরে প্রবেশ করে এবং বায়ুচলাচল অব্যাহত থাকে। দরজা-জানালা খোলা না থাকিলে এবং উপযুক্ত পরিমাণে ঘুলঘুলি না থাকিলে বায়ুচলাচল ব্যাহত হয়।

90. প্রকৃতিতে পরিচলন প্রণালী

সূর্যতাপে ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন অঞ্চল বিভিন্ন পরিমাণে উত্তপ্ত হয়। অপেক্ষাকৃত উষ্ণতর অঞ্চলের বায়ু হাল্কা হইয়া উপরে ওঠে এবং পার্শ্ববর্তী শীতলতর অঞ্চলের ঠাণ্ডা ও ঘনতর বায়ু আসিয়া সেইস্থান দখল করে। এইরূপে বায়ুমণ্ডলের নানাস্থানে পরিচলন স্রোত উৎপন্ন হয় এবং উহা বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি করে।

91. সমুদ্রবায়ু ও স্থলবায়ু (Sea-breeze and Land-breeze)

বায়ুর পরিচলন স্রোতের ফলে সমুদ্রবায়ু ও স্থলবায়ুর উৎপত্তি হয়। দিনের বেলা সূর্যতাপে জলভাগ অপেক্ষা স্থলভাগ শীঘ্র অধিকতর উত্তপ্ত হয়, কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা মাটির আপেক্ষিক তাপ অনেক কম। সুতরাং, সমুদ্রোপকূলস্থ স্থলভাগের উপরিস্থিত বায়ু সমুদ্রের উপরিস্থিত বায়ু অপেক্ষা উত্তপ্ত ও হাল্কা হইয়া উপর দিকে ওঠে এবং সমুদ্র হইতে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা ও ভারী বায়ু উপকূলের দিকে প্রবাহিত হয়। সমুদ্রের দিক হইতে প্রবাহিত হয় বলিয়া এই বায়ুর নাম সমুদ্রবায়ু (sea-breeze)। সাধারণতঃ সমুদ্রবায়ু দিনের বেলায় দ্বিপ্রহরের পূর্ব হইতে বহিতে থাকে এবং বৈকালে প্রবল হয়।

আপেক্ষিক তাপ কম এবং পরিবাহিতা বেশী বলিয়া সূর্যাস্তের পর মাটি জল অপেক্ষা অনেক পূর্বে তাপ হারাইয়া ঠাণ্ডা হইয়া যায়। এজন্য রাত্রিবেলা সমুদ্রের উপরিস্থিত উষ্ণতর বায়ু হাল্কা হইয়া উপরদিকে উঠিতে থাকে এবং উপকূলবর্তী স্থলভাগের উপরিস্থিত ঠাণ্ডা ও ভারী বায়ু সেইস্থান অধিকার করিবার জন্য সমুদ্রের দিকে ধাবিত হয়। স্থলভাগ হইতে প্রবাহিত হয় বলিয়া এই বায়ুপ্রবাহকে স্থলবায়ু (land-breeze) বলে। সাধারণতঃ রাত্রিশেষে এই বায়ু প্রবল হয়।

C. *বিকিরণ* (Radiation)

92. এখন আমরা পরীক্ষা ও আলোচনার সাহায্যে তাপ-সঞ্চালনের তৃতীয় প্রণালী বিকিরণ সম্বন্ধে জ্ঞানলাভের চেষ্টা করিব।

(1) **পরীক্ষা :** একটি পিতলের বা লোহার বল বুনসেন শিখায় অত্যন্ত উত্তপ্ত করিয়া ঝুলাইয়া রাখ। উত্তপ্ত বলের ঠিক নীচে বা পাশে বা উপরে হাত

রাখিলে হাতে তাপের অনুভূতি হইবে। অনুরূপভাবে একটি থার্মমিটারের বাল্‌ব রাখিলে থার্মমিটারের পারদ সম্প্রসারিত হইয়া উষ্ণতাবৃদ্ধি নির্দেশ করিবে।

(2) **পরীক্ষা :** উপরের পরীক্ষার উত্তপ্ত বলটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের উপর অবস্থিত একটি বেলজারের মধ্যে ঝুলাইয়া খুব শীঘ্র পাম্পের সাহায্যে বেলজার হইতে বায়ু নিষ্কাশিত কর। বেলজারের নিকটে একটি থার্মমিটারের বাল্‌ব আনিলে থার্মমিটারের পারদ সম্প্রসারিত হইতে দেখা যাইবে।

(3) **পরীক্ষা :** একটি ছোটঘরে 100 ওয়াটের একটি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালাও। জ্বালাইবা মাত্র তাপ ও আলোর যুগপৎ অনুভূতি হইবে। বাতি নিভাইবা মাত্র আলো ও তাপ অন্তর্হিত হইবে।

এখন এই পরীক্ষাগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করা যাক্। প্রথম পরীক্ষায় উত্তপ্ত বলের তাপ চারিদিকে—উপরে, নীচে, পাশে সঞ্চালিত হয়। পরিবহণ প্রণালীতে ইহা হওয়া সম্ভব নহে, কারণ বায়ু কুপরিবাহী। পরিচলন প্রণালীতে উত্তপ্ত বল হইতে তাপ কেবলমাত্র উপর দিকেই সঞ্চালিত হইতে পারে—নীচে বা পাশের দিকে পারে না, কারণ উত্তপ্ত হাল্‌কা বায়ু কেবলমাত্র উপর দিকেই ওঠে।

সুতরাং এখানে তাপ পরিবহণ ও পরিচলন ব্যতীত অন্য কোনও উপায়ে সঞ্চালিত হইয়াছে। এই উপায়ের নাম দেওয়া হইয়াছে বিকিরণ (radiation)। আমরা বলি উত্তপ্ত বল হইতে চতুর্দিকে তাপ বিকীর্ণ হয়। তাপ-বিকিরণের ফলে তাপ হারাইয়া বলটি ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

দ্বিতীয় পরীক্ষায় আমরা দেখিলাম, বায়ু নিষ্কাশন করিবার ফলে তাপের বিকিরণ বন্ধ হয় নাই। সুতরাং আমরা বলিতে পারি বিকিরণ প্রণালীতে তাপ সঞ্চালনের জন্য কোনও মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না।

তৃতীয় পরীক্ষায় আমরা উত্তপ্ত উৎস হইতে তাপ ও আলোর যুগপৎ বিকিরণ দেখিতে পাই। ইহা হইতে মনে হয় বিকীর্ণ তাপ ও আলোর মধ্যে কোনও সম্পর্ক বা সাদৃশ্য থাকা সম্ভব।

পৃথিবীর তাপ ও আলোর প্রধান উৎস সূর্য। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল মাত্র কয়েকশত মাইল অবধি পরিব্যাপ্ত কিন্তু সূর্য বহু কোটি মাইল দূরে অবস্থিত। সুতরাং বহুদূর বিস্তৃত শূন্যস্থানের ভিতর দিয়া সূর্যতাপ পৃথিবীতে আসিয়া পৌঁছায়। ইহা পরিবহণ

বা পরিচলন প্রণালীতে সম্ভব নহে। সুতরাং সূর্য পৃথিবীতে তাপ বিকিরণ করে। এই বিকীর্ণ তাপ বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া পৃথিবীপৃষ্ঠে পতিত হইয়া পৃথিবীপৃষ্ঠকে উত্তপ্ত করে কিন্তু যে বায়ুমণ্ডলের ভিতর দিয়া আসে তাহার উষ্ণতা বিশেষ কিছু বৃদ্ধি পায় না। বিকিরণ প্রণালী অথবা বিকীর্ণ তাপের ইহা একটি বিশেষত্ব। 'বিকিরণ' কথাটি তাপ-সঞ্চালনের প্রণালী বুঝাইতেও ব্যবহৃত হয় এবং সময় সময় বিকীর্ণ তাপ বুঝাইতেও ব্যবহৃত হয়।

উপরিলিখিত আলোচনার উপর ভিত্তি করিয়া আমরা বিকিরণের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দিতে পারি :

যে প্রণালীতে তাপ উত্তপ্ত বস্তু হইতে কোনও মাধ্যমের সাহায্য ব্যতীত সঞ্চালিত হইতে পারে অথবা কোনও মাধ্যমের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হইলেও উক্ত মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে না তাহাকে বিকিরণ বলে।

93. তাপ-বিকিরণ ও শোষণ ক্ষমতা

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কোনও পদার্থ হইতে বিকীর্ণ তাপের পরিমাণ বাড়িতে থাকে ; কিন্তু একই উষ্ণতায় থাকিলেও সকল পদার্থের তাপ-বিকিরণ ক্ষমতা সমান নহে। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা হইতে ইহা পরিষ্কার বুঝা যায়।

পরীক্ষা : দুইটি সমান মাপের টিনের কৌটা সংগ্রহ কর (সিগারেটের টিন হইলেও চলিবে)। একটি টিনের বাহিরের দিকে কালো রং মাখাইয়া দাও ও অপরটিকে চক্‌চকে রাখ। এখন কৌটা দুইটি টেবিলের উপর পরস্পর হইতে কিছু দূরে রাখিয়া উহাদের মধ্যে সমান পরিমাণ একই উষ্ণতার গরম জল ঢাল। দুইটি থার্মমিটারের বাল্‌ব, কৌটা দুইটির মধ্যে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে ডুবাইয়া রাখ। প্রতি তিন মিনিট অন্তর থার্মমিটারদ্বয়ের পাঠ লও। কিছুকাল পরে দেখিতে পাইবে কালো কৌটার থার্মমিটারের পাঠ চক্‌চকে কৌটার থার্মমিটারের পাঠ হইতে বেশ খানিকটা নীচে, অর্থাৎ তাপ-বিকিরণের ফলে কালো কৌটা অধিকতর শীতল হইয়াছে।

এই পরীক্ষা হইতে বুঝা গেল তাপ-বিকিরণের পরিমাণ কেবলমাত্র উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না—উষ্ণ পদার্থের বহিস্তলের উপরও নির্ভর করে। চক্‌চকে সাদা

তল অপেক্ষা কালো তল হইতে তাপের বিকিরণ দ্রুততর হয়। অনুরূপ পরীক্ষা-দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, মসৃণ ও পালিশ তল অপেক্ষা খসখসে অনুজ্জ্বল তল হইতে তাপ-বিকিরণ দ্রুততর হয়।

তাপ-বিকিরণের মত বিকীর্ণ তাপ শোষণের ক্ষমতাও বহিস্তলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

পরীক্ষা : উপরোক্ত পরীক্ষায় ব্যবহৃত কৌটা দুইটির মধ্যে সমপরিমাণ সমান উষ্ণতার ঠাণ্ডা জল লইয়া কৌটা দুইটিকে একটি বুনসেন দীপশিখা হইতে সমান দূরে রাখ। পূর্বের মত থার্মমিটারের সাহায্যে প্রতি তিন মিনিট অন্তর কৌটা দুইটির উষ্ণতার পাঠ লইতে থাক। কিছুকালের মধ্যেই দেখা যাইবে কালো কৌটার জলের উষ্ণতা চকচকে কৌটার জলের উষ্ণতা হইতে বেশী হইয়াছে।

ইহা হইতে বুঝা যায়, একই সময়ে কালো কৌটা চকচকে কৌটা হইতে অধিকতর পরিমাণে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিয়াছে। সুতরাং দেখা গেল, কালো তলের তাপ-বিকিরণের ক্ষমতা যেমন বেশী, বিকীর্ণ তাপ শোষণের ক্ষমতাও তেমনি বেশী। নানারকম পদার্থ লইয়া পরীক্ষার ফলে দেখা গিয়াছে যে সাদা মসৃণ তলের তাপ-বিকিরণ ও শোষণের ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা কম এবং কালো অমসৃণ তলের তাপ-বিকিরণ ও শোষণের ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা বেশী। মোটের উপর বলা যায়,

যাহা সুবিকিরক তাহাই সুশোষক (Good radiators are good absorbers)।

94. বিকীর্ণ তাপের কতিপয় ধর্ম ও প্রাত্যহিক জীবনে তাহাদের প্রয়োগ (Some properties of radiation and their application in daily life)

(ক) কাচদ্বারা যেমন সূর্যের আলো প্রতিহত করা যায় না, তেমনই সূর্যের বিকীর্ণ তাপও প্রতিহত করা যায় না, অর্থাৎ কাচ আলোর মতই বিকীর্ণ তাপের পক্ষে স্বচ্ছ। কাচ ব্যতীত আরও কোন কোন পদার্থ যেমন কোয়ার্জ (quartz) বিকীর্ণ তাপের পক্ষে স্বচ্ছ (diathermanous)। অপরপক্ষে কাঠ, ধাতুদ্রব্য প্রভৃতি বিকিরণের পক্ষে অনচ্ছ (adiathermanous), অর্থাৎ উহাদের ভিতর দিয়া বিকীর্ণ তাপ যাইতে পারে না।

(খ) সাদা পদার্থ হইতে তাপ-বিকিরণ কম হয় বলিয়া চায়ের পেয়ালা প্রভৃতি সাদা করা হয়। ইহাতে চা বেশীক্ষণ গরম থাকে। চকচকে ধাতুর গ্লাস অপেক্ষা কালো পাথর বাটিতে গরম দুধ শীঘ্র ঠাণ্ডা হয়।

(গ) বাহিরের তাপ-শোষণ কমাইবার জন্য গ্রীষ্মকালে সাদা পোশাক ও তাপ-শোষণ বাড়াইবার জন্য শীতকালে কালো পোশাক উপযোগী।

(ঘ) থার্মমিটারের বালুব কালো রং দিয়া ঢাকিয়া দিলে উহার তাপ-শোষণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। এইরূপ থার্মমিটার বিকীর্ণ তাপ পরীক্ষার পক্ষে অধিকতর উপযোগী।

(ঙ) ক্যালরিমিটার হইতে তাপ-বিকিরণ অথবা ক্যালরিমিটার কর্তৃক তাপ-শোষণ কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটারের বহির্ভাগ চক্চকে করা হয়।

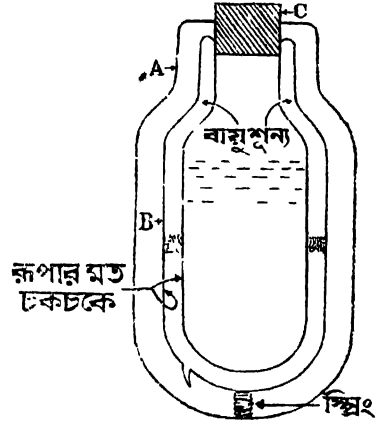
(চ) আমরা সাধারণ অভিজ্ঞতায় জানি, আলো সরল রেখায় চলে। এজন্যই সূর্যরশ্মির পথে কোনও অনচ্ছ বস্তু পড়িলে উহার পশ্চাতে ছায়ার উৎপত্তি হয়। অনচ্ছ বস্তু দ্বারা যেমন আলোকরশ্মি প্রতিহত হয় তেমনি তাপরশ্মি বা বিকীর্ণ তাপও প্রতিহত হয়। এজন্যই দ্বিপ্রহরে গাছের ছায়ায় বা অন্য কোনও ছায়ায় দাঁড়াইলে ঠাণ্ডা অনুভব হয়। ইহাতে বুঝা যায় যে আলোর মত বিকীর্ণ তাপও সরল রেখায় চলে।

95. থার্মোফ্লাস্ক (Thermos flask)

গরম জল, চা, দুধ বা অন্য কিছু এমনি খোলা অবস্থায় রাখিয়া দিলে তাপ হারাইয়া উহা কিছুকাল পরে ঠাণ্ডা হইয়া যায়, অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। অপরপক্ষে বরফ, ঠাণ্ডা জল বা শরবত এমনি কোনও পাত্রে রাখিয়া দিলে বায়ুমণ্ডল হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া ধীরে ধীরে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। অনেক সময় গরম জিনিসকে বহুক্ষণ ধরিয়া গরম এবং ঠাণ্ডা জিনিসকে বহুক্ষণ ধরিয়া ঠাণ্ডা রাখিবার প্রয়োজন হয়। তাহা সম্ভব হইতে পারে যদি ঐ সকল বস্তুকে এমন অবস্থায় রাখা যায় যে, বাহিরের সঙ্গে উহাদের তাপ-বিনিময় প্রায় হয় না বা খুবই কম হয়। অর্থাৎ উহাদিগকে এমন কোনও পাত্রে রাখা দরকার যে-পাত্র হইতে পরিবহণ, পরিচলন বা বিকিরণ প্রণালীতে তাপ নির্গত হইতে পারে না কিংবা যে-পাত্রে তাপ প্রবেশ করিতে পারে না। থার্মোফ্লাস্ক এই রকমের পাত্র।

জেমস্ ডুয়ার নামে একজন ইংরেজ বিজ্ঞানী তরল বায়ু (liquid air) রাখিবার জন্য প্রথম থার্মোফ্লাস্ক-জাতীয় পাত্র তৈয়ারি করিয়াছিলেন। তিনি ইহার নাম দিয়াছিলেন vacuum ফ্লাস্ক বা বায়ুশূন্য ফ্লাস্ক। 55নং চিত্র হইতে থার্মোফ্লাস্কের গঠন প্রণালী বুঝা যাইবে।

Fig 55—থার্মোফ্লাস্ক

B একটি দুই-দেওয়াল-বিশিষ্ট কাচের ফ্লাস্ক। দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য এবং ভিতরের দেওয়ালের বহির্ভাগ ও বাহিরের দেওয়ালের অন্তর্ভাগ উপযুক্ত প্রলেপের সাহায্যে রূপার মত চক্‌চকে করা। সমগ্র ফ্লাস্কটি একটি ধাতু-নির্মিত আবরণ A-র ভিতরে একটি স্প্রিংয়ের উপর বসান। ফ্লাস্কের মুখ কর্কের ছিপি 'C' দ্বারা আটকান। কাচের ফ্লাস্ক এবং ধাতুব বহিরাবরণের অন্তর্বর্তী স্থানে ফেল্ট-জাতীয় অর্থাৎ তাপের কুপরিবাহী পদার্থ রাখা হয়। এই ফ্লাস্কের ভিতর গরম বা ঠাণ্ডা জিনিস রাখিলে বহুক্ষণ ধরিয়া গরম বা ঠাণ্ডা থাকিবে। কাচ, কর্ক ও ফেল্ট তাপের কুপরিবাহী বলিয়া ফ্লাস্কের ভিতরের বস্তুর সহিত বাহিরের পরিবহণ প্রণালীতে তাপ-বিনিময় প্রায় হয় না। কাচের ফ্লাস্কের দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য করিয়া পরিচলন প্রণালীতে তাপ-বিনিময়ের সম্ভাবনাও রোধ করা হয়। আর ফ্লাস্কের দুই দেওয়াল চক্‌চকে করায়, বিকিরণ প্রণালীতেও তাপ-বিনিময় যৎসামান্য হইতে পারে। সুতরাং ফ্লাস্কের ভিতরের বস্তু বাহির হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া উষ্ণতর বা তাপ হারাইয়া শীতলতর হইতে পারে না।

96. মোটর গাড়ির এঞ্জিন শীতলীকরণ ব্যবস্থা (Cooling system of an automobile)

মোটর গাড়ির এঞ্জিনের মধ্যে একাধিক সিলিণ্ডার থাকে। প্রত্যেক সিলিণ্ডারে পেট্রল-বাষ্পের দহন হয় এবং তাহার ফলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। এই তাপ

অপসারিত করিয়া এঞ্জিন ঠাণ্ডা রাখিবার ব্যবস্থা না রাখিলে অধিকাংশ এঞ্জিনই শীঘ্র নষ্ট হইয়া যাইবে। এজন্য শীতলীকরণ ব্যবস্থা প্রত্যেক এঞ্জিনের একটি অত্যাবশ্যকীয় অঙ্গ। এই ব্যবস্থায় তাপের পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ এই তিন প্রণালীরই সাহায্য গ্রহণ করা হয়। কিভাবে শীতলীকরণ হয় তাহা 56নং চিত্রের সাহায্যে বুঝান হইল।

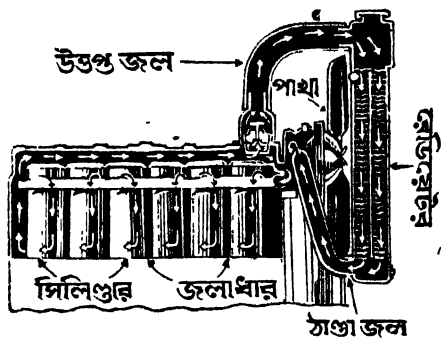



Fig. 56—মোটর গাড়ির এঞ্জিনের শীতলীকরণ

চিত্রে দেখ প্রত্যেক সিলিণ্ডারকে বেষ্টন করিয়া জলাধার (water-jacket) রহিয়াছে। সিলিণ্ডারগুলির দেওয়ালের ভিতর দিয়া তাপ পরিবহণ প্রণালীতে জলাধারের জলের ভিতরে যায়। তাপ পাইয়া জল উত্তপ্ত এবং হাল্কা হয় ও জলাধারগুলির মধ্যে পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হয়। জলাধারগুলি নল দ্বারা তাপ-বিকিরকের (radiator) সহিত সংযুক্ত। নীচদিক হইতে রেডিয়েটরের ভিতর দিয়া আগত ঠাণ্ডা ভারী জল উত্তপ্ত জলকে উপর দিকে রেডিয়েটরের নলের মধ্যে ঠেলিয়া দেয়। যদিও রেডিয়েটর এবং অন্যান্য উত্তপ্ত অংশ হইতে বিকিরণ প্রণালীতে প্রচুর তাপ নির্গত হয়, তথাপি ইহাতে এঞ্জিন যথেষ্ট শীতল হয় না। এজন্য বায়ুর কৃত্রিম পরিচলন স্রোত তৈয়ারি করিয়া অধিকাংশ তাপ অপসারিত করা হয়। এই উদ্দেশ্যে রেডিয়েটরের পশ্চাতে একটি পাখা থাকে। পাখাটির গঠন এইরকম যে, মোটরগাড়ি যখন সম্মুখের দিকে চলে পাখাটি দ্রুত পশ্চাৎ দিকে বাতাস ঠেলিয়া দেয়। ফলে রেডিয়েটরের ভিতর দিয়া প্রবলবেগে ঠাণ্ডা বাতাস বহিতে থাকে এবং রেডিয়েটরের ভিতরের গরম জল হইতে তাপ অপসারিত করিতে থাকে। রেডিয়েটরের জল ঠাণ্ডা হইয়া নীচে নামিয়া আসে এবং পুনরায় জলাধারের দিকে যায়।

97. পরিবহণ, ও পরিচলন ও বিকিরণের মধ্যে পার্থক্য

(1) পরিবহণ ও পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ-সঞ্চালনের জন্য মাধ্যমের প্রয়োজন হয় এবং তাপ-সঞ্চালনের ফলে মাধ্যম উত্তপ্ত হয়। পরিবহণ প্রণালীতে তাপ-সঞ্চালনে কোনও বস্তুকণার স্থান-পরিবর্তন হয় না, কিন্তু বস্তুকণার স্থান-পরিবর্তন দ্বারা পরিচলন প্রণালীতে তাপ-সঞ্চালন হয়। বিনা মাধ্যমেই তাপের বিকিরণ হইতে পারে এবং যখন মাধ্যমের ভিতর দিয়া বিকিরণ হয়, তখন মাধ্যম বিশেষ উত্তপ্ত হয় না।

(2) উত্তপ্ত বস্তুর চতুর্দিকে সরলরেখায় তাপের বিকিরণ হয়। উপযুক্ত মাধ্যমের ভিতর দিয়া উত্তপ্ত বস্তু হইতে তাপের পরিবহণও সর্বদিকে হয়। কিন্তু পরিচলন স্রোত দ্বারা তাপ কেবলমাত্র উত্তপ্ত পদার্থের উপর দিকেই সঞ্চালিত হয়।

(3) বিকিরণ অত্যন্ত দ্রুত পদ্ধতি, কারণ বিকীর্ণ তাপ আলোর বেগে (সেকেণ্ডে 1,86,000 মাইল) চলে। সেই তুলনায় পরিবহণ ও পরিচলন অত্যন্ত ধীর গতিতে হয়।

অনুশীলনী

1. What are the different ways of transmission of heat ? Give examples

   তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন উপায় কি কি ? দৃষ্টান্ত সহ উহাদের মধ্যে পার্থক্য বুঝাইয়া দাও।

2. Explain conduction of heat. Give examples of good and bad conductors.

   তাপ-পরিবহণ কাহাকে বলে ? কুপরিবাহী ও সুপরিবাহী পদার্থের দৃষ্টান্ত দাও।

3. Explain :

   (a) Water can be boiled in a paper vessel.

   (b) The flame of a Bunsen burner cannot penetrate a copper wire gauze placed upon it

   ব্যাখ্যা কর ঃ

   (ক) কাগজের পাত্রে জল ফোটে অথচ কাগজ পোড়ে না।

   (খ) একটি তারের জাল বুনসেন দীপশিখার উপরে রাখিলে দীপশিখা তারের জাল ভেদ করিয়া উপরে উঠিতে পারে না।

4. Describe the construction and action of Davy's safety lamp.
ডেভির নিরাপত্তা বাতির গঠন ও কার্য বর্ণনা কর।

5 Describe an experiment to show that water is a bad conductor of heat.

জলের কুপরিবাহিতা প্রমাণ করিবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

6. What is convection of heat? Demonstrate with suitable experiments the convection of heat in a liquid and a gas.
তাপ-পরিচলন কাহাকে বলে? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে তাপের পরিচলন বুঝাইয়া দাও।

7. Describe a hot-water-supply system in the houses in a cold country.

শীতপ্রধান দেশে ঘরে ঘরে গরম জল সরবরাহের একটি প্রণালী বর্ণনা কর।

8. What is radiant heat? How does it differ from light?
বিকীর্ণ তাপ কাহাকে বলে? আলোকের সহিত বিকীর্ণ তাপের পার্থক্য কি?

9 Describe the construction and use of a thermos flask. Give a sketch.

চিত্রের সাহায্যে থার্মোফ্লাস্ক বর্ণনা কর।

10. Describe the cooling system of an automobile engine.
মোটর এঞ্জিনের শীতলীকরণ ব্যবস্থা বর্ণনা কর।

11. What precautions should be taken in calorimetric experiments? Why is the wall of a calorimeter kept shining?
ক্যালরিমিতির পরীক্ষায় কি কি সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত? ক্যালরিমিটারের বহিস্তল চক্‌চকে রাখা হয় কেন?

12. (a) Why woollen clothes are used in winter?

(b) Why black clothes are preferred in winter and white clothes in summer?

(c) Why tea-cups and saucers are usually made white and of china-clay?

(ক) শীতকালে পশমের পোশাক ব্যবহার করা হয় কেন?

(খ) শীতকালে কালো পোশাক এবং গরমের দিনে সাদা পোশাক পরিবার সুবিধা কি?

(গ) চায়ের কাপ-ডিশ সাধারণতঃ সাদা রঙের এবং চীনামাটির তৈয়ারী হয় কেন?

আলো এক বৎসরে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাই এক আলোক-বৎসর। সুতরাং পৃথিবী হইতে আল্‌ফা-সেণ্টৌরীর দূরত্ব প্রায় চার আলোক-বৎসর।

4. কতিপয় সংজ্ঞা

যে বস্তু হইতে স্বতঃ আলো নির্গত হয় সেই বস্তুকে **স্বপ্রভ** (luminous) বস্তু বলে ; যেমন—সূর্য, নক্ষত্র, প্রদীপ, বৈদ্যুতিক আলো প্রভৃতি। যে সকল বস্তুর নিজস্ব আলো নাই তাহাদিগকে **অপ্রভ** (non-luminous) বস্তু বলে। যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মি যাইতে পারে তাহাদিগকে **স্বচ্ছ** (transparent) পদার্থ বলে। যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মি চলিতে পারে না তাহারা **অনচ্ছ** (opaque) পদার্থ। কতকগুলি পদার্থ, যেমন ঘষা কাচ, তৈলাক্ত বা পাতলা কাগজ— ইহাদের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মি আংশিকভাবে যাইতে পারে। ইহাদিগকে **ঈষদচ্ছ** (translucent) পদার্থ বলে। যে স্থান বা পদার্থের ভিতর দিয়া আলো যায় তাহাকে সাধারণভাবে আলোর **মাধ্যম** (medium) বলে। যে মাধ্যমের সকল অংশ বর্ণ, গঠন, ঘনত্ব ইত্যাদি বিষয়ে সমধর্মী তাহাকে **সমসত্ত্ব** (homogeneous) **মাধ্যম** বলে।

স্বপ্রভ বস্তুর প্রতিটি বিন্দু আলোর উৎস। বাধা না পাইলে প্রতিবিন্দু হইতে আলোক চতুর্দিকে বিকীর্ণ হয়। আলোর চলার পথকে **আলোকরশ্মি** (ray of light) বলে। নানারকম পরীক্ষায় দেখা যায় যে কোনও নির্দিষ্ট সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখায় চলে। এজন্য সরলরেখা দ্বারা আলোর পথ বা আলোকরশ্মি নির্দেশ করা হয়। সরলরেখার উপর তীরচিহ্ন (→) আঁকিয়া আলোর গতির দিক বুঝান হয়।

কতকগুলি আলোকরশ্মির সমষ্টিকে **রশ্মিগুচ্ছ** (pencil of rays) বলে। চিত্রে কতকগুলি রশ্মিগুচ্ছ দেখান হইয়াছে।

1নং চিত্রে কতকগুলি সমান্তরাল রশ্মি দেখান হইয়াছে। ইহাদের সমষ্টিকে **সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ** বলে। 2নং চিত্রে আলোর একটি বিন্দুপ্রভব (point source) হইতে কতকগুলি রশ্মি শঙ্কুর আকারে ছড়াইয়া পড়িয়াছে। এইপ্রকার

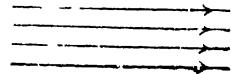



Fig 1—সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ

রশ্মিগুচ্ছকে **অপসারী রশ্মিগুচ্ছ** (divergent pencil) বলে। কোনও সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ যদি একটি অবতল (concave) লেন্সের ভিতর দিয়া যায় তাহা হইলে

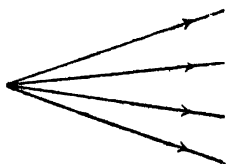
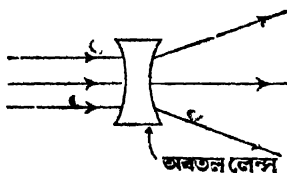



Fig 2—অপসারী রশ্মিগুচ্ছ Fig —3

অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (3নং চিত্র)। 4নং চিত্রে দেখান হইয়াছে যেন কতকগুলি আলোকরশ্মি একবিন্দু অভিমুখী হইয়া চলিতেছে। এইপ্রকার একবিন্দু অভিমুখী রশ্মিগুচ্ছকে **অভিসারী** (convergent) **রশ্মিগুচ্ছ** বলে।

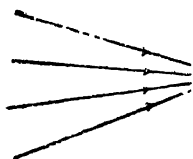
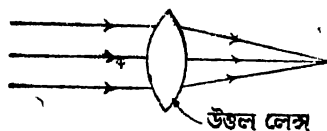



Fig 4—অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ Fig. 5

কোনও সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ একটি উত্তল লেন্সের (convex lens) ভিতর দিয়া যাইবার পর অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (5নং চিত্র)।

5. আলোকরশ্মির ঋজুগতির পরীক্ষা

আমরা সাধারণ অভিজ্ঞতায় জানি আলো সরলরেখায় চলে। টর্চের আলো অথবা মোটরের হেডলাইটের আলো দেখিয়াও আমাদের এই ধারণাই জন্মায়; দরজা বা দেয়ালের কোনও ফুটা দিয়া যখন সূর্যের আলো ঘরে প্রবেশ করে তখন ঘরের ভিতরের ধূলিকণাদ্বারা সূর্যরশ্মির সরলপথ উদ্ভাসিত হয়। চোখ এবং কোনও বস্তুর মাঝখানে যদি একটি অনচ্ছ পদার্থ, যেমন কার্ডবোর্ড বা বই, ধরা যায় তাহা হইলে বস্তুটিকে আর দেখা যায় না। আলোক

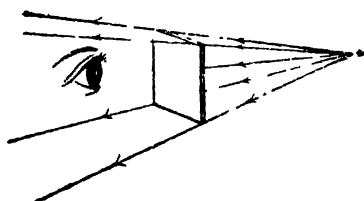



Fig 6—আলো সরলরেখায় চলে

সরলরেখায় চলে বলিয়াই এরূপ হয়। যে রশ্মিগুলি অনচ্ছ পদার্থটিকে অতিক্রম করিয়া যায় তাহারা বাঁকিয়া চোখে প্রবেশ করিতে পারে না (6নং চিত্র)।

এইরূপ অনেক সাধারণ অভিজ্ঞতা ব্যতীত কয়েকটি সহজ পরীক্ষা দ্বারাও আমরা আলোর ঋজুগতির প্রমাণ পাইতে পারি।

তিনটি আয়তাকার পিচবোর্ডের টুকরা লইয়া প্রত্যেকটির মাঝখানে আলপিন দিয়া একটি করিয়া ছোট ছিদ্র কর এবং পিচবোর্ড তিনটিকে পর পর এমন ভাবে দাঁড় করাও, যাহাতে ছিদ্র তিনটি একই সরলরেখায় অবস্থিত হয় (7নং চিত্র)। এখন একটি মোমবাতি জ্বালিয়া একধারের পিচবোর্ডের ছিদ্রের ঠিক পশ্চাতে স্থাপন কর।

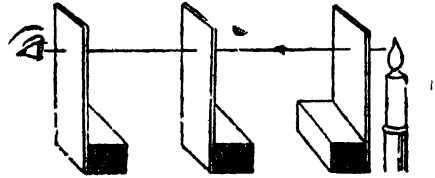



Fig. 7—আলোর ঋজুগতি

এই অবস্থায় অন্যধারের পিচবোর্ডটির ছিদ্রের ভিতর দিয়া তাকাইলে আলোকরশ্মি চোখে পড়িবে এবং শিখার যে বিন্দু হইতে ঐ আলোকরশ্মি আসিতেছে তাহা দেখা যাইবে। কিন্তু যে-কোন একটি ছিদ্রকে সরলরেখা হইতে সরাইয়া লইলে বিন্দুটিকে আর দেখা যাইবে না। ইহাতে আলোকের ঋজুগতি প্রমাণিত হয়।

6. সূচীছিদ্র ক্যামেরা (Pinhole camera)

আলোর ঋজুগতি প্রমাণ করিবার আর একটি সুন্দর ব্যবস্থা হইল সূচীছিদ্র ক্যামেরা। ইহা একটি চৌকা বাক্স (8নং চিত্র)—পিচবোর্ড দ্বারা অনায়াসে তৈয়ারি করা যায়।

বাক্সের সম্মুখ দেওয়ালে একটি ছোট ছিদ্র (pin hole) করা থাকে এবং ইহার বিপরীত দিকে থাকে একটি ঘষা কাচ। বাক্সের ভিতরে যাহাতে আলোর প্রতি-

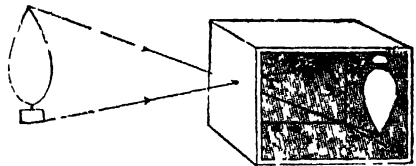



Fig 8—সূচীছিদ্র ক্যামেরা

ফলন না হইতে পারে সেজন্য বাক্সটির ভিতরের দিক কালো রং করা থাকে অথবা কালো কাগজ দিয়া মোড়া থাকে। সূচীছিদ্রের সম্মুখে কোনও জিনিস রাখিলে

উহার উল্টা ছবি ঘষা কাচের উপর পড়ে। দূরবর্তী গাছপালা ঘরবাড়ীর উল্টা ছবিও এইভাবে ঘষা কাচের উপর দেখা যায়। ঘষা কাচের পরিবর্তে ফটোগ্রাফী প্লেট রাখিলে এইভাবে ফটোও তোলা যায় কিন্তু এক্‌স্‌পোজার দিতে হইবে অনেকক্ষণ। চিত্রে দেখান হইয়াছে কিভাবে ঘষা কাচের উপরি একটি মোমবাতির উল্টা ছবি পড়ে। ইহা হইতে আলোর ঋজুগতি পরিষ্কার বুঝা যায়।

সুচীছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্রের আকার বড় করিলে প্রতিবিম্ব স্পষ্ট না হইয়া অস্পষ্ট হইবে। বেশী বড় করিলে প্রতিবিম্ব আর দেখা যাইবে না। ইহার কারণ বড় ছিদ্রকে অনেকগুলি ছোট ছিদ্রের সমষ্টি মনে করা যায়। প্রত্যেকটি ছোট ছিদ্রের জন্য এক একটি পৃথক প্রতিবিম্ব উপর্যুপরি গঠিত হওয়ায় কোনও সুনির্দিষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে না।

7. ছায়ার উৎপত্তি

আলো সরলরেখায় চলে বলিয়াই আলোকরশ্মির সম্মুখে কোনও অনচ্ছ বস্তু স্থাপন করিলে, তাহার পশ্চাতে সেই বস্তুর আকারের ছায়া পড়ে। চতুষ্কোণ বইয়ের ছায়া চতুষ্কোণ হয় (9নং চিত্র) এবং গোলাকার বলের ছায়া গোলাকার হয় (10নং চিত্র)। আলোর পথ বাঁকিয়া গেলে এইরূপ হইত না। পৃথিবীর প্রায় বর্তুলাকৃতির একটি প্রমাণ হইল যে, চন্দ্রগ্রহণের সময় চন্দ্রের উপর পৃথিবীর যে ছায়া পড়ে তাহা গোলাকার।

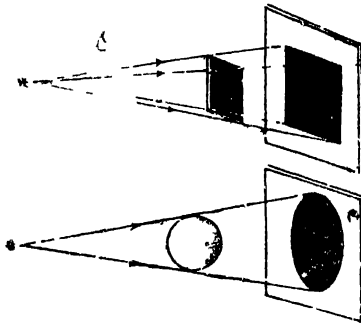



Fig 9, 10—চতুষ্কোণ বইয়ের ছায়া চতুষ্কোণ, গোলাকার বলের ছায়া গোল

8. বিন্দুপ্রভব

ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি নির্ভর করে উৎস ও অনচ্ছ বস্তুর আকৃতি ও আপেক্ষিক দূরত্বের উপর। 9 ও 10নং চিত্রে দেখ আলোকের উৎসটি খুব ছোট, প্রায় বিন্দুবৎ। এইরূপ আলোর উৎসের সম্মুখে অনচ্ছ বস্তু স্থাপন করিলে যে ছায়া হয় তাহা সুনির্দিষ্ট—যেমন চিত্রে দেখান হইয়াছে। ইহার সর্বত্র সমান অন্ধকার। আলোকের প্রভব হইতে অনচ্ছ বস্তুর দূরত্ব যত বেশী হয় ছায়ার আকৃতি

তত ছোট হয়। দেওয়াল এবং অনচ্ছ বস্তুর দূরত্ব স্থির রাখিয়া কোনও আলোর প্রভবকে ক্রমশ দূরে সরাইতে থাকিলে দেখিবে দেওয়ালের উপর অনচ্ছ বস্তুর ছায়া ক্রমশ ছোট হইতেছে। আর আলোর প্রভব ক্রমশ নিকটে আনিলে দেখিতে পাইবে দেওয়ালের উপর পতিত ছায়া বড় হইতেছে। যে দেওয়াল বা পর্দার উপর ছায়া পড়ে, তাহার দূরত্বের উপরও ছায়ার আকার নির্ভর করে। আলোক-প্রভব ও অনচ্ছ বস্তুর দূরত্ব স্থির রাখিয়া দেওয়াল বা পর্দার দূরত্ব কমাইয়া বাড়াইয়া পরীক্ষা করিলে বুঝিতে পারিবে ছায়ার আকারের কিরূপ পরিবর্তন হয়। (11নং চিত্র দেখ।)

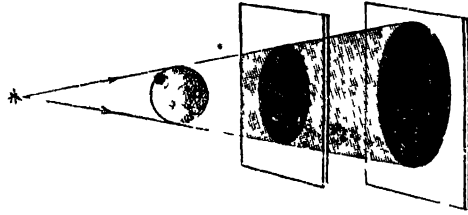



Fig 11—পর্দার দূরত্বের সহিত ছায়ার আকৃতির পরিবর্তন

9. বিস্তৃত আলোকপ্রভব—প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া

আলোর প্রভব যদি বিস্তৃত হয় তাহা হইলে ছায়া সুনির্দিষ্ট হয় না এবং ইহার সর্বত্র সমান অন্ধকার থাকে না। সাধারণতঃ মাঝখানের কিছু অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার হয়, আর তাহার চতুর্দিকের অংশ হয় অল্পালোকিত। সম্পূর্ণ অন্ধকার অংশের নাম **প্রচ্ছায়া** (umbra) আর অল্পালোকিত অংশের নাম **উপচ্ছায়া** (penumbra)। (12নং চিত্র দেখ।)

বিস্তৃত প্রভব ও অনচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আকৃতির উপর ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি কিভাবে নির্ভর করে তাহা নীচের চিত্রগুলির সাহায্যে বুঝান হইল। (12 ও 13নং চিত্র দেখ।)

(1) বিস্তৃত প্রভব অপেক্ষা বৃহত্তর অনচ্ছ পদার্থ (Object greater than the extended source)

PQ আলোর প্রভব ; AB ইহার সম্মুখে একটি অনচ্ছ পদার্থ ; ST পর্দা। আলোকপ্রভবের দুইটি প্রান্তবিন্দু P এবং Q হইতে পর্দা অবধি দুইটি আলোকরশ্মি PAC, QBD টানা হইয়াছে। AB অনচ্ছ বস্তুর পশ্চাতে (অর্থাৎ আলোর

বিপরীত দিকে) একটি শঙ্কু আকৃতির ছায়া বা ছায়া-শঙ্কু (shadow cone) ABDC-র উৎপত্তি হইয়াছে এবং পর্দার CD অংশে অনচ্ছ বস্তুটির একটি ছায়া পড়িয়াছে। এই অংশে প্রভব হইতে কোন আলোই প্রবেশ করিতে পারে না অর্থাৎ এই ABDC ছায়া-শঙ্কু এবং পর্দার CD অংশটি সম্পূর্ণ অন্ধকার। ইহাদিগকে **প্রচ্ছায়া** (umbra) বলে।

P এবং Q বিন্দু হইতে আরও দুইটি রশ্মি PBF এবং QAE টানা হইয়াছে। এই রশ্মিদ্বয় দ্বারা যে শঙ্কু উৎপন্ন হইয়াছে তাহার অগ্রভাগ O। অনচ্ছ বস্তুর

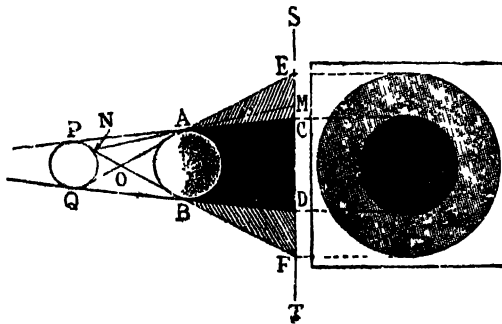



Fig 12—বিস্তৃত প্রভব অপেক্ষা বৃহত্তর অনচ্ছ পদার্থ

পশ্চাতে এই শঙ্কুর ACE এবং BDF অংশ আলোকপ্রভব দ্বারা আংশিকভাবে আলোকিত এবং ST পর্দার উপর CE ও DF অংশদ্বয় আংশিক ছায়া। এই আংশিক ছায়া ও আংশিক আলোকিত অংশকে বলে **উপচ্ছায়া** (penumbra)।

উপচ্ছায়ার অন্তর্গত যে-কোনও বিন্দু M হইতে প্রভব অবধি MAN রেখা টানিলেই বুঝা যায় যে, এই রেখার উপরের দিকে অবস্থিত PQ প্রভবের সকল অংশ হইতে উপচ্ছায়ার ME অংশ আলো পায় কিন্তু ঐ রেখার নীচের অংশ হইতে কোনও আলো পায় না। M বিন্দু E-র দিকে যত অগ্রসর হয়, এই আলোর পরিমাণ তত বাড়ে এবং যত প্রচ্ছায়া CD-র নিকটবর্তী হয, এই আলোর পরিমাণ তত কমে। অর্থাৎ ST পর্দার উপর যে ছায়া পড়ে তাহা সর্বত্র সমান গভীর নহে। মাঝখানের কিয়দংশে সম্পূর্ণ অন্ধকার গভীর ছায়া, আর তার চতুর্দিকে

ক্রমালোকিত হাল্‌কা ছায়া। একটি গোলাকার অনচ্ছ বস্তুর ছায়া পর্দার উপর কেমন দেখা যাইবে তাহা (12নং চিত্রে) দেখান হইয়াছে।

(2) **প্রভব অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর অনচ্ছ পদার্থ** (**Object smaller than source**)

13নং চিত্রে AB অনচ্ছ পদার্থ PQ উৎস হইতে ক্ষুদ্রতর। এখানে যে প্রচ্ছায়া-শঙ্কু গঠিত হইয়াছে তাহার অগ্রভাগ অনচ্ছ প্রতিবন্ধকের বিপরীত দিকে। এখানেও পর্দার উপর যে ছায়া পড়িয়াছে তাহাতে প্রচ্ছায়াকে ঘিরিয়া উপচ্ছায়া রহিয়াছে। কিন্তু লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, পর্দাটি ক্রমশ দূরে সরাইতে থাকিলে প্রচ্ছায়ার অংশ ক্ষুদ্রতর হইতে হইতে অবশেষে বিলীন হইয়া যায়। আরও দূরে

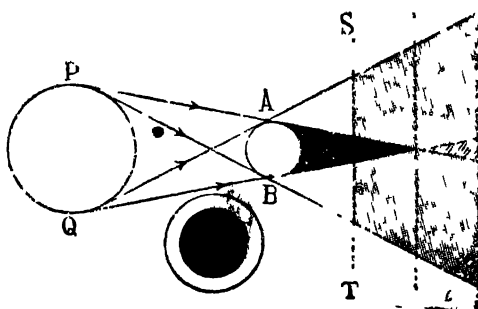



Fig 13—প্রভব অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর অনচ্ছ পদার্থ

সরাইলে মাঝখানে প্রচ্ছায়ার স্থলে আর একটি উপচ্ছায়া দেখা যায়। এই উপচ্ছায়া অংশে প্রভবের মধ্যভাগ হইতে কোনও আলো পৌঁছায় না—ধার (edge) হইতে আলো যায়। এই অংশে চোখ রাখিয়া প্রভবের দিকে তাকাইলে প্রভবের মধ্যভাগ দেখা যাইবে না—অন্ধকার মধ্যভাগ ঘিরিয়া উজ্জ্বল বর্ডার বা ধার দেখা যাইবে। (13নং চিত্রের নিম্নাংশ দেখ।)

10. সূর্য ও চন্দ্রগ্রহণ

সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ আলোর সরলরেখায় গমনের ফল। উপরে ছায়ার উৎপত্তি সম্বন্ধে যাহা বলা হইয়াছে তাহা হইতে সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ কিভাবে হয় তাহা পরিষ্কার বুঝা যাইবে।

(1) চন্দ্রগ্রহণ

কোনও কোনও পূর্ণিমায় চন্দ্র তাহার কক্ষপথে চলিতে চলিতে সূর্যের বিপরীত দিকে পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার মধ্যে আসিয়া উপস্থিত হয়। তখন পৃথিবীর ছায়া চন্দ্রের

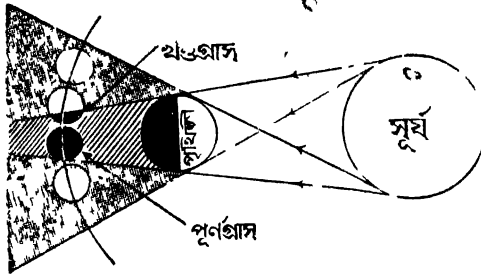



Fig. 14—চন্দ্রগ্রহণ

উপর পড়ে এবং ফলে চন্দ্রগ্রহণ হয়। এখানে সূর্য বিস্তৃত প্রভব, পৃথিবী গোলাকার অনচ্ছ পদার্থ এবং চন্দ্র পর্দা। চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে চন্দ্র যখন সম্পূর্ণভাবে প্রচ্ছায়ার মধ্যে থাকে তখন হয় চন্দ্রের পূর্ণগ্রাস গ্রহণ; আর যখন আংশিক ভাবে প্রচ্ছায়ার মধ্যে থাকে তখন হয় আংশিক গ্রহণ বা খণ্ডগ্রাস গ্রহণ। চন্দ্র উপচ্ছায়ার মধ্যে থাকিলে চন্দ্রের উজ্জ্বলতার হ্রাস হয় মাত্র, গ্রহণ হয় না।

(2) সূর্যগ্রহণ

কোনও কোনও অমাবস্যায় চন্দ্র ঠিক পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসিয়া উহাদের সঙ্গে একই সরলরেখায় অবস্থিত হয়। তখন পৃথিবী হইতে সূর্যগ্রহণ দেখা যায়।

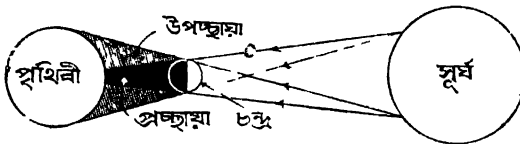



Fig 15—সূর্যগ্রহণ

এখানে সূর্য আলোর বিস্তৃত প্রভব, চন্দ্র অনচ্ছ প্রতিবন্ধক (প্রভব হইতে ক্ষুদ্রতর) এবং পৃথিবী পর্দা। চন্দ্র ও পৃথিবীর আপেক্ষিক অবস্থান অনুসারে সূর্যগ্রহণ তিন-প্রকার হইতে পারে—(i) পূর্ণগ্রাস গ্রহণ, (ii) আংশিক বা খণ্ডগ্রাস গ্রহণ, (iii) বলয় গ্রহণ। তিনপ্রকার গ্রহণ কিভাবে হয় তাহা 15, 15a ও 16নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

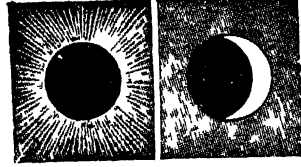
(i) **পূর্ণগ্রাস গ্রহণ**—চন্দ্রের প্রচ্ছায়া পৃথিবীর যে অংশে পড়ে সেই অংশ হইতে সূর্যের কোনও অংশ দেখা যায় না অর্থাৎ পৃথিবীর সেই অংশে পূর্ণগ্রাস গ্রহণ হয়। যেহেতু সূর্যের তুলনায় চন্দ্র অতিশয় ক্ষুদ্র সেজন্য চন্দ্রের প্রচ্ছায়া পৃথিবীর অতি অল্পস্থান জুড়িয়াই পড়ে। সুতরাং কোনও বিশেষ সূর্যগ্রহণ পৃথিবীর অল্পস্থান হইতেই একবারে দেখা যায়।

(ii) **আংশিক গ্রহণ**—চন্দ্রের উপচ্ছায়া অংশ প্রচ্ছায়া হইতে অনেক বড়। পৃথিবীর যে যে অংশে চন্দ্রের উপচ্ছায়া পড়ে, সেই সেই অংশ হইতে সূর্যকে আংশিক ভাবে দেখা যায়। অর্থাৎ পৃথিবীর সেই সকল স্থানে সূর্যের আংশিক গ্রহণ হয়।

Fig 15a—পূর্ণ ও আংশিক সূর্যগ্রহণ

(iii) **বলয় গ্রহণ**—বলয় গ্রহণও একপ্রকার আংশিক গ্রহণ। পৃথিবী হইতে চন্দ্রের দূরত্ব সকল অমাবস্যায় সমান থাকে না। কোনও কোনও সময় দূরত্ব এত বেশী হয় যে, পৃথিবী চন্দ্রের প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর অগ্রভাগেরও দূরে অবস্থিত থাকে।

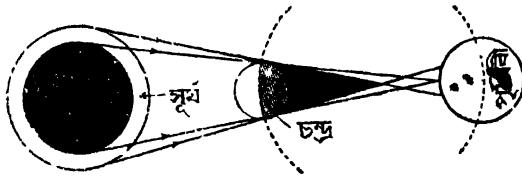



Fig 16—বলয় গ্রহণ

এই অবস্থায় শঙ্কুর বর্ধিত অংশ পৃথিবীর উপরে (13নং চিত্রের মত , উপচ্ছায়ার মধ্যে আর একটি উপচ্ছায়া সৃষ্টি করে। এই অংশ হইতে সূর্যের বলয় গ্রহণ দেখা যায় অর্থাৎ অন্ধকার মধ্যভাগের চতুর্দিকে উজ্জ্বল বলয় দেখা যায়। চন্দ্রের ছায়া-শঙ্কুর কোনও অংশই পৃথিবীর উপর না পড়িলে সূর্যগ্রহণ হইতে পারে না।

চন্দ্রের কক্ষপথ ও পৃথিবীর কক্ষপথ এক সমতলে অবস্থিত নয় বলিয়া প্রতি পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ ও প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না।

11. গাছের ছায়ার ফাঁকে ফাঁকে আলোর চক্কর

আলোকরশ্মির ঋজুগতির প্রমাণ স্বরূপ আর একটি সুন্দর দৃষ্টান্তের উল্লেখ করা যাইতে পারে। দিনের বেলায় অনেক সময় বড় গাছের নীচে পাতার ছায়ার

ফাঁকে ফাঁকে বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার আলোর চক্কর দেখা যায়। ঐ এক একটি চক্কর আসলে সূর্যের এক একটি ছবি। সূচীছিদ্র ক্যামেরায় যেমন উল্টা ছবি পড়ে সূর্যের ছবিও মাটিতে সেইরকম ভাবে পড়ে। বহুদূরবর্ত্তী সূর্যের পক্ষে গাছের পাতার মধ্যবর্তী অসংখ্য ফাঁকগুলি এক একটি সূচীছিদ্রের কাজ করে এবং

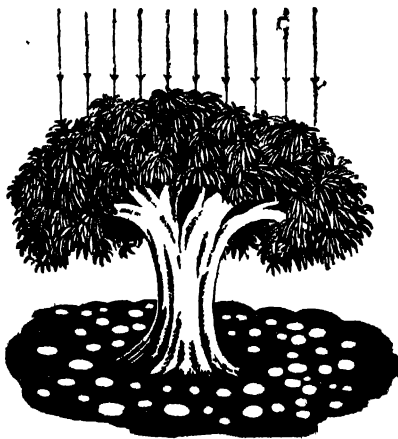



Fig 17—গাছের নীচে আলোর চক্কর

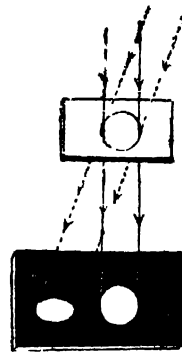



Fig 18—বৃত্তকার ও উপবৃত্তাকার ছবি

প্রত্যেকটির জন্য সূর্যের এক একটি ছবি মাটিতে আলোর চক্করের মত দেখা যায়। সূর্যরশ্মি তির্যক্ ভাবে পড়িলে উপবৃত্তাকার ছবি হয় ও লম্বভাবে পড়িলে বৃত্তাকার ছবি হয়। সূর্যগ্রহণের সময় এই আলোর চক্করগুলির দিকে তাকাইলে দেখা যায় যে চন্দ্র কর্তৃক সূর্যের আচ্ছাদিত অংশ অনুযায়ী এই চকরগুলিও আচ্ছাদিত হইয়াছে। সূর্যের দিকে না তাকাইয়া সূর্যগ্রহণ দেখিবার ইহা একটি সহজ উপায়।

অনুশীলনী

1. What do you know about the velocity of light? What is a light-year?
   আলোর গতি সম্বন্ধে কি জান? আলোক-বৎসর কাহাকে বলে?
2. What is a ray of light? Draw suitable diagrams to show (a) a divergent pencil, (b) a convergent pencil, and (c) a parallel pencil of rays
   আলোকরশ্মি কাহাকে বলে? অপসারী, অভিসারী ও সমান্তরাল রশ্মি কাহাকে বলে চিত্র ও দৃষ্টান্তের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

3. Describe suitable experiments to demonstrate rectilinear propagation of light.
আলো সরলরেখায় চলে—ইহা প্রমাণ করিবার জন্য কয়েকটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

4. Explain the formation of a shadow. What are umbra and penumbra ?
ছায়ার উৎপত্তি হয় কিভাবে ? প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া কাহাকে বলে ?

5. Describe a pinhole camera. What is its use ? What is the effect of enlarging the hole ?
সূচীছিদ্র ক্যামেরার কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহার ছিদ্র বড় করিবার ফল কি ?

6. When and how does the phenomenon of lunar eclipse occur ? Explain its occurrence with the help of a suitable diagram.
চন্দ্রগ্রহণ কখন এবং কেন হয় ? চিত্রের সাহায্যে চন্দ্রগ্রহণ বুঝাইয়া দাও।

7. Describe different kinds of solar eclipse with the help of appropriate diagrams. The sun is not eclipsed every new moon. Why ?
বিভিন্ন প্রকার সূর্যগ্রহণ চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না কেন।?

দ্বিতীয় অধ্যায়

আলোর প্রতিফলন
(Reflection of light)

12. পূর্ব অধ্যায়ে আমরা আলোকরশ্মির ঋজুগতির সম্বন্ধে পরীক্ষা ও আলোচনা করিয়াছি। কোনও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোকরশ্মি সরলরেখায় চলে কিন্তু আলো এক মাধ্যমে চলিতে চলিতে যদি অন্য মাধ্যমের সম্মুখীন হয়, তাহা হইলে আলোকরশ্মির দিক্-পরিবর্তন হয়। সাধারণতঃ আলোকরশ্মির এক অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে ও আংশিকভাবে শোষিত হয় এবং অপর অংশ প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই দ্বিতীয় অংশকে বলে **প্রতিফলিত আলো** এবং ফিরিয়া আসা ঘটনাটিকে বলে **প্রতিফলন**। এখন প্রতিফলন সম্বন্ধে কিছু কিছু পরীক্ষা ও আলোচনা করিয়া আমরা প্রতিফলন ও ইহার ব্যবহারিক প্রয়োগ সম্বন্ধে জ্ঞানলাভ করিতে চেষ্টা করিব।

13. নিয়মিত ও বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (Regular reflection and scattering)

আলোর প্রতিফলন দুইপ্রকার হইতে পারে—নিয়মিত ও বিক্ষিপ্ত।

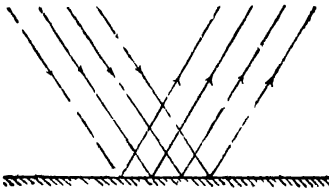
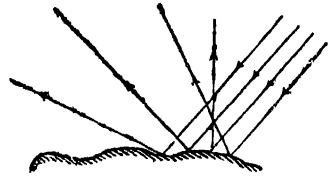



Fig. 19—নিয়মিত প্রতিফলন

আলোকরশ্মি যদি দর্পণ অথবা ঐ জাতীয় কোনও মসৃণ সমতলে পতিত হয়, তাহা হইলে উহার প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে। এই সকল ক্ষেত্রে প্রতিফলন কতকগুলি নির্দিষ্ট নিয়মাধীনে ঘটে বলিয়া এইরূপ প্রতিফলনকে 'নিয়মিত' প্রতিফলন বলা হয়।

অপরপক্ষে অমসৃণ অস্বচ্ছ তল, যেমন ঘরের দেওয়াল, মেজে, কাঠ, কাগজ, ঘষা কাচ প্রভৃতি হইতে আলোকরশ্মির অনিয়মিত বা বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন ঘটিয়া থাকে। অনিয়মিত প্রতিফলনে আলোকরশ্মি কোনও এক নির্দিষ্ট দিকে প্রতিফলিত হয় না— ইতস্ততঃ নানাদিকে প্রতিফলিত হয়। আলোকরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের জন্যই অনচ্ছ বস্তু আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়।

Fig 20—বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন

আমরা আলোকরশ্মির 'নিয়মিত' প্রতিফলন সম্বন্ধেই বিশেষভাবে আলোচনা ও পরীক্ষা করিব।

14. কতিপয় সংজ্ঞা

মনে করা যাক্ একটি আলোকরশ্মি PQ কোনও দর্পণ ও অথবা মসৃণ সমতলের Q বিন্দুতে আপতিত হইয়া QR পথে প্রতিফলিত হইতেছে। Q বিন্দুতে ঐ তলের উপর QN লম্ব টানা হইয়াছে।

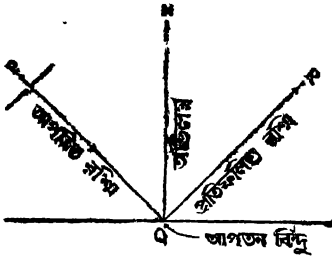



Fig. 21

এখানে PQ সরলরেখাকে **আপতিত রশ্মি** (incident ray), QR সরলরেখাকে **প্রতিফলিত রশ্মি** (reflected ray). Q বিন্দুকে **আপতন বিন্দু** (point of incidence) এবং QN সরলরেখাকে আপতন বিন্দুতে **অভিলম্ব** (normal) বলা হয়।

আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব ও আপতিত রশ্মির অন্তর্গত $\angle PQN$ ($\angle i$)-কে **আপতন কোণ** (angle of incidence) এবং অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মির অন্তর্গত $\angle RQN$ ($\angle r$)-কে **প্রতিফলন কোণ** (angle of reflection) বলে।

15. প্রতিফলনের নিয়ম (Laws of reflection)

বহু পরীক্ষা দ্বারা প্রতিপন্ন হইয়াছে যে নিয়মিত প্রতিফলন নিম্নলিখিত নিয়মানুযায়ী সংঘটিত হয় :

প্রথম নিয়ম—আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে থাকে।

দ্বিতীয় নিয়ম—আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের সমান।

যদি কোনও আলোকরশ্মি অভিলম্বভাবে (normally) আপতিত হয় তাহা হইলে উহা অভিলম্বভাবেই প্রতিফলিত হয়। এক্ষেত্রে $\angle i = \angle r = 0$.

16. প্রতিফলনের নিয়মগুলির যাথার্থ্য প্রতিপাদন (Verification of the laws of reflection)

পিনের সাহায্যে পরীক্ষাগারে তোমরা অতি সহজেই প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা নিরূপণ করিতে পার। ইহার জন্য প্রয়োজন হয়, প্রায় একফুট বর্গ-পরিমাণ একটি অঙ্কনবোর্ড (drawing board), সাদা কাগজ, কয়েকটি পিন ও একটি পাতলা দর্পণ।

পরীক্ষা ঃ অঙ্কনবোর্ডটি টেবিলের উপর অনুভূমিক ভাবে স্থাপন করিয়া তাহার উপর একটি সাদা কাগজ আঁট। কাগজের মাঝামাঝি স্থানে XY একটি সরলরেখা টান। দর্পণটিকে কাগজের উপর খাড়া করিয়া এমনভাবে স্থাপন কর যেন ইহার পশ্চাৎ তল (অর্থাৎ প্রতিফলক তল) XY রেখা বরাবর উল্লম্বভাবে (vertically) থাকে। দর্পণের সম্মুখভাগে একপার্শ্বে যথাক্রমে প্রায় তিন ও দুই ইঞ্চি দূরে P ও Q দুইটি পিন লম্বভাবে বসাও (অঙ্কনবোর্ডের উপর পিন সহজেই বসিয়া যাইবে)।

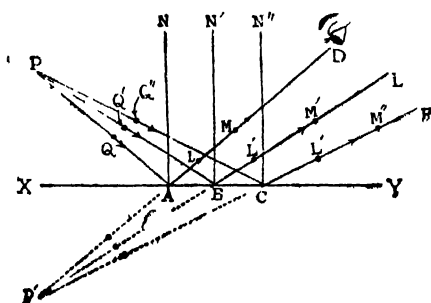



Fig 22—পিনের সাহায্যে প্রতিফলনের নিয়ম প্রতিপাদন

তারপর দর্পণের অন্য পার্শ্ব হইতে তাকাইয়া দেখ দর্পণের পশ্চাতে P ও Q পিন দুইটির প্রতিবিম্ব দেখা যায়। একটি চোখ এমনভাবে রাখ যেন পিন দুইটির প্রতিবিম্ব একরেখায় দেখা যায় অর্থাৎ Qএর প্রতিবিম্বের ঠিক পশ্চাতে Pএর প্রতিবিম্ব দেখা যায। এই অবস্থায় চোখটিকে স্থির রাখিয়া কাগজের উপর লম্বভাবে আরও দুইটি পিন L ও M এমনভাবে স্থাপন কর যেন, এই দুইটি পিনের পাদবিন্দু P ও Q পিনের প্রতিবিম্বদ্বয়ের পাদবিন্দুব সহিত একরেখীয় (collinear) হয়। এবার দর্পণটি ও পিনগুলি সরাইয়া লও। কাগজের উপর P, Q পিনের পাদবিন্দুদ্বয়ের চিহ্নদ্বয় সংযোগ করিয়া একটি সরলরেখা এবং L, M পিনদ্বয়ের পাদবিন্দুর চিহ্নদ্বয় সংযোগ করিয়া আর একটি সরলরেখা টান। দেখিবে এই

সরলরেখাদ্বয় XY রেখার A বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। A বিন্দুতে XY রেখার উপর AN লম্ব টান। একটু চিন্তা করিলেই বুঝিতে পারিবে PA একটি আপতিত রশ্মি ও ALMD উহার প্রতিফলিত রশ্মি। চাদার সাহায্যে মাপিয়া দেখ আপতন কোণ $\angle PAN$ = প্রতিফলন কোণ $\angle DAN$। ইহাদ্বারা প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়মটি প্রতিপন্ন হইল। প্রথম নিয়মটির যাথার্থ্যও সঙ্গে সঙ্গে প্রমাণিত হইয়াছে, কারণ PA, AN এবং AD রেখাগুলি সবই কাগজের সমতলে অবস্থিত।

PA ব্যতীত আরও কয়েকটি আপতিত রশ্মি ও তাহাদের প্রতিফলিত রশ্মি অঙ্কিত করিয়া প্রতিক্ষেত্রেই উপরোক্ত নিয়মগুলির যাথার্থ্য পরীক্ষা করিবে। ইহা অনায়াসেই করা যায়। দর্পণ ও পিনগুলি কাগজ হইতে সরাইবার পূর্বে P পিনটিকে স্থির রাখিয়া Q পিনটিকে যথাক্রমে Q′ ও Q″ অবস্থানে বসাইয়া L, M পিন দুইটির নূতন অবস্থান L′, M′ এবং L″, M″ উল্লিখিত উপায়ে স্থির কর। তারপর পিনগুলি ও দর্পণটি কাগজ হইতে সরাইয়া PQ′B, PQ″C আপতিত রশ্মি ও BL′M′E, CL″M″F প্রতিফলিত রশ্মি অঙ্কিত কর। B এবং C বিন্দুতে XY রেখার উপর যথাক্রমে BN′ ও CN″ লম্ব অঙ্কিত কর।

চাঁদার সাহায্যে মাপিয়া দেখ,

$$\angle PBN' = \angle EBN'$$

এবং $$\angle PCN'' = \angle FCN''.$$

DA, EB এবং FC রেখা দর্পণের পশ্চাদ্দিকে বর্ধিত করিয়া দেখ উহারা P′ বিন্দুতে মিলিত হয়। P′ বিন্দু দর্পণের পশ্চাতে P পিনের প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্দেশ করে। XY রেখা হইতে P ও P′এর দূরত্ব মাপ। দেখিবে দূরত্বদ্বয় সমান। তোমাদের পরীক্ষার ফল নিম্নলিখিত তালিকানুযায়ী লিপিবদ্ধ করিবে। (তালিকায় এইরূপ একটি পরীক্ষার ফল দেওয়া হইয়াছে।)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন কোণ	প্রতিফলন কোণ	মন্তব্য
1	36°	35.5°	আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ প্রায় সমান।
2	40°	40°	∴ প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়মের সত্যতা প্রতিপন্ন
3	61°	61·5°	হইল।

17. হার্টলের চাকতি (Hartle's disc)

'হার্টলের চাকতি' নামে অভিহিত একটি যন্ত্রের সাহায্যে আলোকরশ্মির প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা অতি সুন্দরভাবে প্রতিপন্ন করা যাইতে পারে। এই যন্ত্রের প্রধান অংশ একটি বৃত্তাকার পাতলা চাকতি D (23নং চিত্র)। চাকতির একটি তল দুইটি পরস্পর লম্ব ব্যাস PQ, MN দ্বারা চারি অংশে (quadrant) বিভক্ত। প্রত্যেক অংশ চাকতির ধার বরাবর $0°$ হইতে $90°$ কৌণিক অংশে বিভক্ত। PQ ব্যাসের দুইপ্রান্ত $0° - 0°$ চিহ্নিত এবং MN ব্যাসের দুইপ্রান্ত $90° - 90°$ চিহ্নিত। চাকতিটি একটি অনুভূমিক অক্ষের চতুর্দিকে লম্বতলে (vertical plane) ঘুরিতে পারে। চাকতির

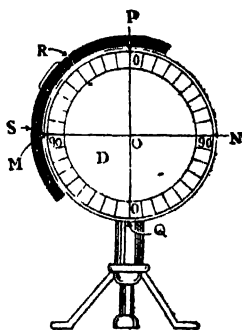



Fig 23—হার্টলের চাকতি

পরিধির ঠিক বহির্দিকে পরিধির কিয়দংশ ঘিরিয়া একটি ধাতব পর্দা (screen) S আছে। পর্দাটির মধ্যে চাকতির তলের সহিত লম্বভাবে একটি ছিদ্র (slit) R আছে। ছিদ্রটি বন্ধ করিবার বা আংশিকভাবে খুলিবার জন্য একটি ঢাকনা আছে। এই ছিদ্রের ভিতর দিয়া বাহিরের কোনও আলোক-প্রভব হইতে সরু আলোকরশ্মিগুচ্ছ চাকতির তল ঘেঁষিয়া প্রেরণ করিলে ঐ রশ্মিগুচ্ছ চাকতির কেন্দ্র বরাবর চলিয়া যায়।

Fig 24—প্রতিফলনের নিয়মের সত্যতা পরীক্ষা

পরীক্ষা : প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা ক্লাসে প্রদর্শনের পক্ষে হার্টলের চাকতি অত্যন্ত উপযোগী। একটি পাতলা দর্পণ MN ব্যাস বরাবর এমনভাবে রাখিতে হইবে যেন দর্পণের উপরিতল অর্থাৎ প্রতিফলক তল চাকতির তলের সহিত লম্বভাবে থাকে। (এইরূপভাবে দর্পণটিকে রাখিবার জন্য উপযুক্ত ব্যবস্থা চাকতির উপর থাকে)। চিত্রের প্রদর্শিত অবস্থায় চাকতিটিকে দাঁড় করাইয়া R ছিদ্র বরাবর একটি সরু আলোকরশ্মিগুচ্ছ প্রেরণ করিলে উহা দর্পণের উপর চাকতির কেন্দ্র O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OT পথে প্রতিফলিত হইবে। সাদা চাকতির উপর আপতিত রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মির পথ পরিষ্কার চিহ্নিত দেখা যাইবে। এই

উভয় রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব OP স্পষ্টতঃই একই সমতলে অর্থাৎ চাকতির তলে অবস্থিত। ইহাই প্রতিফলনের প্রথম নিয়ম।

অভিলম্বের উভয় পার্শ্বে TO এবং OR রশ্মি অভিলম্ব OPর সহিত কত ডিগ্রী কোণ উৎপন্ন করে তাহা সহজেই চাকতির পরিধির অংশাংক হইতে নির্ণয় করা যাইতে পারে। দেখা যাইবে যে উভয় কোণই সমান, অর্থাৎ

আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ।

ইহাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়ম।

18. প্রতিবিম্ব—সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব (Image—real and virtual)

কোনও বস্তু হইতে আলোকরশ্মি কোথাও বাধা না পাইয়া যখন সরাসরি আমাদের চোখে পড়ে, তখন আমরা ঐ বস্তুটিকে দেখিতে পাই অর্থাৎ ঐ বস্তুর অবস্থান ও আকৃতি সম্বন্ধে আমাদের প্রত্যক্ষ

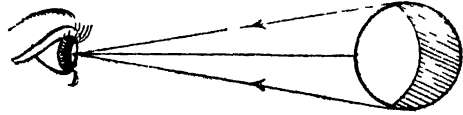



Fig 25—দৃষ্টি

ধারণা হয় (25নং চিত্র)। কিন্তু বস্তুটি হইতে আলোকরশ্মি যদি সরাসরি আমাদের চোখে না আসিয়া প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হেতু দিক্‌-পরিবর্তন করিয়া আসে, তাহা হইলেও আমরা বস্তুর আকৃতি দেখিতে পাই। কিন্তু তখন আমাদের মনে হয় বস্তুটি অন্য জায়গায় আছে। এই অন্য জায়গায় আমরা যাহা দেখি তাহাই বস্তুটির **প্রতিবিম্ব**। এইরূপ প্রতিবিম্ব আমরা দেখিতে পাই যখন আয়নায় আমরা মুখ দেখি, পুকুরের জলের মধ্যে পাড়ে অবস্থিত গাছ বা ঘরবাড়ীর ছবি, দেখি।

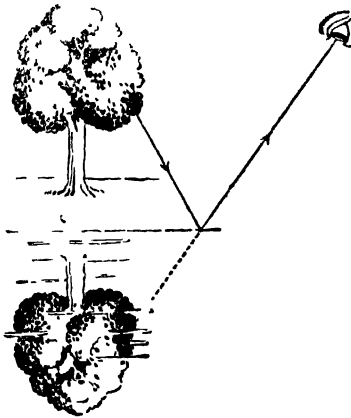



Fig 26—প্রতিবিম্ব

আয়নার সম্মুখে অবস্থিত প্রত্যেক জিনিসের প্রতিবিম্ব আয়নার পশ্চাতে দেখা যায়।

প্রতিবিম্ব দুইপ্রকার হইতে পারে—সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব।

19. সদ্‌বিম্ব (Real image)

কোনও বিন্দুপ্রভব হইতে নির্গত আলোকরশ্মি যদি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ফলে দিক্‌-পরিবর্তন করিয়া অন্য কোনও বিন্দুতে মিলিত হয়, তাহা হইলে এই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর সদ্‌বিম্ব বলে।

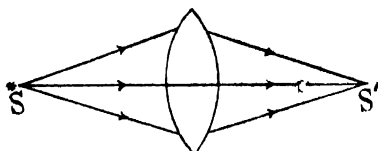



Fig 27—প্রতিসরণের ফলে সদবিম্ব

27নং চিত্রে S বিন্দু হইতে একগুচ্ছ রশ্মি একটি উত্তল লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া S′ বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। S′ বিন্দু S বিন্দুর সদ্‌বিম্ব। ঐ স্থানে একটি পর্দা থাকিলে পর্দার উপর S′ প্রতিবিম্ব পড়িবে। 28নং চিত্রে M অবতল দর্পণে প্রতিফলনের ফলে S-এর সদ্‌বিম্ব S′ গঠিত হইয়াছে।

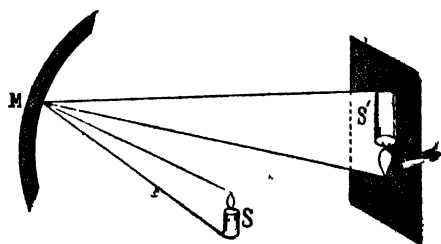



Fig 28—প্রতিফলনের ফলে সদ্‌বিম্ব

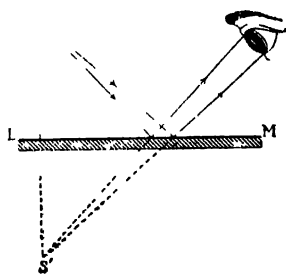
20. অসদ্‌বিম্ব (Virtual image)

কোনও বিন্দুপ্রভব হইতে নির্গত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ যদি প্রতিসরণের বা প্রতিফলনের ফলে এমনভাবে দিক্‌-পরিবর্তন করে যে, তাহারা একবিন্দুতে মিলিত হইবার পরিবর্তে অন্য কোনও বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়, তাহা হইলে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অসদ্‌-বিম্ব বলে।

Fig 29—প্রতিফলনের ফলে অসদবিম্ব

29নং চিত্রে দেখ LM দর্পণের সম্মুখে S একটি বিন্দুপ্রভব। S বিন্দু হইতে এক রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের উপর প্রতিফলিত হইয়া চোখে পড়িতেছে। চোখে

মনে হইতেছে যে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি S′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। এখানে S′ বিন্দু S বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। এখানে S′ বিন্দুর স্থানে পর্দা রাখিলে কোনও প্রতিবিম্ব পড়িবে না।

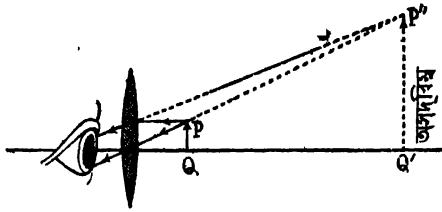



Fig. 30—প্রতিসরণের ফলে অসদ্‌বিম্ব

30নং চিত্রে দেখা যায় কিভাবে প্রতিসরণের ফলে অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। এখানে P′Q′ PQ বস্তুর একটি বর্ধিত অসদ্‌বিম্ব।

21. সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্বের পার্থক্য

(1) কোনও বিন্দু হইতে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ফলে যদি একবিন্দুতে মিলিত হয়, তাহা হইলে সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়।

যদি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ একবিন্দুতে মিলিত হইবার পরিবর্তে অন্য একবিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়, তাহা হইলে অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়।

(2) সদ্‌বিম্ব পর্দার উপর ফেলা যায়। অসদ্‌বিম্ব পর্দার উপর ফেলা যায় না, কেবল চোখে দেখা যায়।

22. সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব

কোনও সমতল দর্পণের সম্মুখে আলোর একটি বিন্দুপ্রভব থাকিলে প্রতিফলনের ফলে দর্পণের পশ্চাতে ঐ বিন্দুর একটি অসদ্‌বিম্ব দেখা যায়। বিন্দুটি দর্পণ-হইতে সম্মুখে যতখানি দূরে অবস্থিত, প্রতিবিম্বটি দর্পণের পশ্চাতে ঐ বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের উপর ঠিক ততখানি দূরে অবস্থিত। ইহা জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা অথবা পরীক্ষা দ্বারা সহজেই প্রমাণ করা যায়। (339 পৃষ্ঠায় পরীক্ষা দ্রষ্টব্য।)

(1) জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা প্রমাণ

মনে কর, LM রেখা কাগজের তলদ্বারা একটি সমতল দর্পণের অনুভূমিক ছেদ। S কাগজের তলে অবস্থিত দর্পণের সম্মুখে একটি বিন্দুপ্রভব। দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত রশ্মি SA অঙ্কিত কর। ইহা লম্বভাবে প্রতিফলিত হইয়া AS অভিমুখে ফিরিয়া যাইবে। SB তির্যক্ ভাবে আপতিত আর একটি রশ্মি। মনে কর BP উহার প্রতিফলিত রশ্মি। B বিন্দুতে BN লম্ব অঙ্কিত কর।

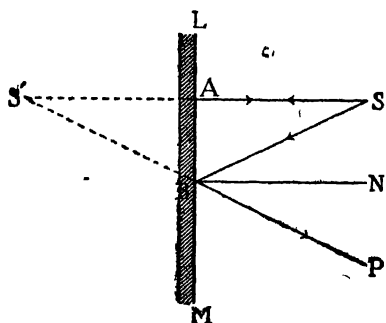



Fig 31
প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়

প্রতিফলনের সূত্রানুসারে

$\angle SBN = \angle PBN$

মনে কর বর্ধিত PB ও SA দর্পণের পশ্চাতে S' বিন্দুতে মিলিত হয়। দর্পণের সম্মুখ হইতে তাকাইলে মনে হইবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি যেন S' বিন্দু হইতে আসিতেছে। অর্থাৎ S' বিন্দু S বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব।

এখন, $\angle PBN = \angle SBN$

এবং যেহেতু $BN \parallel AS$

$\therefore \angle PBN = \angle BS'S$

ও $\angle SBN = \angle ASB$

$\therefore \angle ASB = \angle BS'S$

অতএব $\triangle ASB$ ও $\triangle AS'B$ এর মধ্যে

$\angle ASB = \angle AS'B$
AB সাধারণ
$\angle BAS = \angle BAS'$, সমকোণ বলিয়া।

সুতরাং $AS = AS'$

অর্থাৎ S বিন্দুর প্রতিবিম্ব দর্পণের পশ্চাতে দর্পণ হইতে S বিন্দুর সমদূরবর্তী এবং S বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত লম্বের উপর অবস্থিত।

(2) **পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ**: 332 পৃষ্ঠায় পরীক্ষা দ্রষ্টব্য। নিম্নবর্ণিত উপায়েও পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা: একটি অঙ্কনবোর্ডের উপর একটি সাদা কাগজ পিনের সাহায্যে আঁটিয়া দাও। কাগজের মাঝামাঝি জায়গায় LM একটি সরলরেখা টানিয়া ঐ রেখা বরাবর একটি কাচের দর্পণ লম্বভাবে স্থাপন কর। দর্পণের সম্মুখে S বিন্দুতে একটি পিন খাড়াভাবে পুঁতিয়া দাও। এখন দর্পণের সম্মুখে যে-কোনও দিক হইতে তাকাইলে দর্পণের পশ্চাতে S পিনের প্রতিবিম্ব (S′) দেখিতে পাইবে। PQ দিক হইতে তাকাইয়া প্রতিবিম্বটির সহিত এক সরলরেখায় P ও Q বিন্দুতে দুইটি পিন লম্বভাবে পুঁতিয়া দাও। অনুরূপ ভাবে X এবং Y বিন্দুতে দুইটি পিন বসাও। তারপর S পিনের পশ্চাতে T বিন্দুতে একটি পিন এমন ভাবে বসাও যে S এবং T পিন দুইটি এবং দর্পণের পশ্চাতে S′ প্রতিবিম্ব এক সরলরেখায় দেখা যায়। XY, PQ এবং TS সরলরেখা বর্ধিত করিয়া দেখ উহারা এক S′ বিন্দুতে মিলিত হয়। স্পষ্টই বুঝা যায় TSNS′ দর্পণের উপর লম্ব (লম্বভাবে আপতিত রশ্মি লম্বভাবে প্রতিফলিত হয়)। মাপিয়া দেখ SN=S′N এবং ∠LNS=1 সমকোণ।

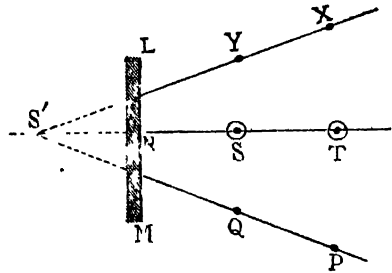



Fig. 32
প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়

অতএব, সমতল দর্পণে প্রতিফলনের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সম্বন্ধে আমরা জ্যামিতিক প্রমাণ এবং পরীক্ষা এই উভয় উপায়ে জানিতে পারিলাম—

(1) প্রতিবিম্ব অসৎ।

(2) দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব (object distance) দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্বের (image distance) সমান।

(3) বস্তু এবং প্রতিবিম্বের সংযোজক সরলরেখা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

23. বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব (Image of an extended object)

পূর্বে যাহা বলা হইয়াছে তাহার সাহায্যে দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত কোনও বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা নির্ণয় করা যাইতে পারে। মনে কর LM দর্পণের সম্মুখে PQ একটি বিস্তৃত বস্তু। ইহাকে অসংখ্য বিন্দুর সমষ্টি মনে করা যাইতে পারে। প্রত্যেক বিন্দুরই অসদ্‌বিম্ব দর্পণের পশ্চাতে গঠিত হইবে এবং ইহাদের সমন্বয়ে গঠিত প্রতিবিম্বই PQ বস্তুর অসদ্‌বিম্ব।

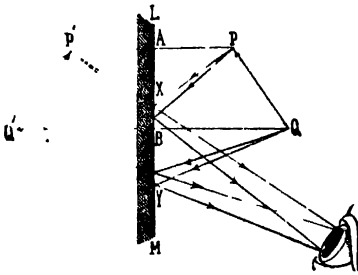



Fig 33—বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব

এ ক্ষেত্রে বিস্তৃত বস্তুটির প্রান্ত-বিন্দুদ্বয় P ও Q-এর অসদ্‌বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিয়াই সমগ্র বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান পাওয়া যাইতে পারে।

P হইতে PA লম্ব টানিয়া P' অবধি বর্ধিত কর যেন AP=AP' হয়। P' বিন্দুই P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। অনুরূপ ভাবে Q বিন্দু হইতে দর্পণের উপর QB লম্ব টানিয়া Q' অসদ্‌বিম্বের অবস্থান নির্ণয় কর। P'Q' সংযুক্ত কর। P'Q'ই দর্পণ দ্বারা গঠিত PQ-এর অসদ্‌বিম্ব।

দর্পণের সম্মুখে চোখ রাখিলে আলোকরশ্মির প্রতিফলন হেতু প্রতিবিম্বটি কিভাবে দেখা যায় চিত্রে তাহা বুঝান হইয়াছে।

লক্ষ্য করিবে যে PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব দেখিবার জন্য সমগ্র দর্পণের কোনও প্রয়োজন নাই। PQ এবং চোখের প্রদর্শিত অবস্থানে দর্পণের কেবলমাত্র XY অংশই প্রতিবিম্ব দেখিবার পক্ষে কার্যকরী। চোখ ও বস্তু অথবা উভয়েরই অবস্থানের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে কার্যকরী অংশও পরিবর্তিত হইবে।

24. সমতল দর্পণ সংক্রান্ত কতিপয় উল্লেখযোগ্য বিষয়

(1) কোনও মানুষ নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পারে।

মনে কর, LM একটি দর্পণ, PQ ইহার সম্মুখে একটি মানুষ, E তাহার চোখ। P এবং Q বিন্দু হইতে যথাক্রমে PL ও QM লম্ব টানিয়া P′ ও Q′ অবধি বর্ধিত কর যেন PL=LP′ ও QM=MQ′ হয়। P′Q′ সংযুক্ত কর। P′Q′ই মানুষটির পূর্ণ প্রতিবিম্ব। P′E′, Q′E সংযুক্ত কর। উহারা LM দর্পণকে যথাক্রমে X ও Y বিন্দুতে ছেদ করে। PX ও QY সংযুক্ত কর।

আমরা বলিতে পারি PX রশ্মি LM দর্পণের X বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া E চোখে প্রবেশ করিতেছে এবং QY রশ্মি Y বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া E চোখে পড়িতেছে। ইহার ফলে E চক্ষু প্রলম্বিত EX ও EY রেখার P′ ও Q′ বিন্দুতে যথাক্রমে P ও Q বিন্দুর প্রতিবিম্ব দেখিতেছে। চিত্র হইতে স্পষ্টই বুঝা যায় যে পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখার পক্ষে দর্পণের XY অংশই কার্যকরী। জ্যামিতির সাহায্যে সহজেই প্রমাণ করা যায় যে $XY=\frac{1}{2}PQ$। সুতরাং নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দর্পণে কোনও মানুষ তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পারে।

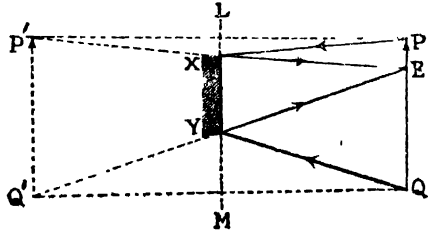



Fig 34—সমতল দর্পণে পূর্ণ প্রতিবিম্ব

প্রমাণঃ $\triangle P'PE$র PP′ বাহুর মধ্যবিন্দু L
এবং $LX \parallel PE$

$\therefore$ X বিন্দু P′Eর মধ্যবিন্দু।

অনুরূপ ভাবে $\triangle QQ'E$ হইতে প্রমাণ করা যায়
Y বিন্দু Q′Eর মধ্যবিন্দু।

এক্ষণে যেহেতু, P′EQ′ ত্রিভুজের P′E বাহুর মধ্যবিন্দু X
এবং Q′E বাহুর মধ্যবিন্দু Y

সুতরাং $XY=\frac{1}{2}P'Q'=\frac{1}{2}PQ$.

(2) **দর্পণ অভিমুখে বা বিপরীত দিকে বস্তুর গতির সহিত প্রতিবিম্বের অবস্থানের পরিবর্তন**

মনে কর, LM দর্পণের সম্মুখে S একটি বস্তু। দর্পণের পশ্চাতে S′ উহার প্রতিবিম্ব। LM হইতে S-এর দূরত্ব যদি x হয় তাহা হইলে S′-এর দূরত্বও x.

এখন S বস্তুটি দর্পণের দিকে চলিতে আরম্ভ করিয়া যদি কিছুক্ষণ পরে S_1 বিন্দুতে উপস্থিত হয় তাহা হইলে উহার প্রতিবিম্বও দর্পণের পশ্চাতে সমদূরবর্তী S_1' বিন্দুতে গঠিত হইবে। অর্থাৎ বস্তুটি দর্পণের দিকে যতখানি অগ্রসর হইবে প্রতিবিম্বটিও দর্পণের দিকে ততখানি অগ্রসর হইবে। SS_1-এর মধ্যবর্তী সকল অবস্থানের জন্যই একথা সত্য। সুতরাং আমরা বলিতে পারি কোনও বস্তু দর্পণের দিকে যে গতিতে অগ্রসর হয়, উহার প্রতিবিম্বও সেই গতিতে দর্পণের দিকে অগ্রসর হয়।

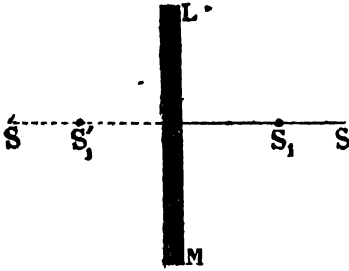



Fig 35—বস্তুর গতির সহিত প্রতিবিম্বের পরিবর্তন

অনুরূপ যুক্তি দ্বারা দেখান যায় যে, দর্পণের বিপরীত দিকে চলার সময় বস্তু এবং উহার প্রতিবিম্ব একই গতিতে দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যায়।

(3) **সমতল দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বস্তু ও উহার প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক গতি**

দর্পণ LM-এর সম্মুখে S একটি বস্তু এবং দর্পণের পশ্চাতে সমদূরে S′ উহার প্রতিবিম্ব।

SS′ সরলরেখা LM দর্পণের তলকে O বিন্দুতে লম্বভাবে ছেদ করে।

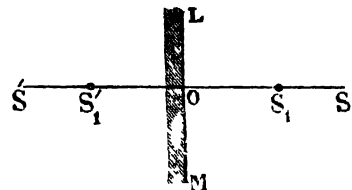



Fig 36—বস্তু ও প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক গতি

ধর $OS = D$,

$\therefore \quad OS' = D$

$\therefore \quad SS' = OS + OS' = 2D.$

এখন মনে কর, বস্তুটি প্রতি সেকেণ্ডে v cm. গতিতে দর্পণ অভিমুখে চলিয়া t সেকেণ্ড পরে S_1 স্থানে পৌঁছিল।

$$\therefore \quad SS_1 = vt$$

এবং $OS_1 = D - vt$

এই অবস্থায় S_1-এর প্রতিবিম্ব S_1' স্থানে দেখা যাইবে

এবং $OS_1' = OS_1 = D - vt.$

$$\therefore \quad S_1S_1' = D - vt + D - vt$$
$$= 2D - 2vt.$$

অর্থাৎ t সেকেণ্ডে বস্তু ও প্রতিবিম্ব পরস্পরের দিকে $2vt$ সেণ্টিমিটার অগ্রসর হইয়াছে।

সুতরাং উহাদের আপেক্ষিক গতি প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{2vt}{t}$ বা $2v$ সেণ্টিমিটার।

অতএব আমরা বলিতে পারি যে, কোনও বস্তু যে-গতিতে দর্পণ অভিমুখে অগ্রসর হয়, উহার প্রতিবিম্ব তাহার দ্বিগুণ বেগে বস্তুটির দিকে অগ্রসর হয়। অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যায় যে, কোনও বস্তু যে-গতিতে দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যায়, উহার প্রতিবিম্ব তাহার দ্বিগুণ বেগে বস্তুটি হইতে সরিয়া যায়।

(4) দর্পণের ঘূর্ণনের ফলে প্রতিফলিত রশ্মির দিক্-পরিবর্তন

মনে কর, LM দর্পণটি O বিন্দুতে একটি অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে। LM অবস্থানে PO একটি আপতিত রশ্মি এবং OQ উহার প্রতিফলিত রশ্মি। ON O বিন্দুতে অভিলম্ব।

Fig 37—দর্পণের ঘূর্ণনে প্রতিফলিত রশ্মির দিক-পরিবর্তন

প্রতিফলনের নিয়মানুসারে, $\angle PON = \angle QON = \alpha$ (মনে কর)।

মনে কর, LM দর্পণটি $\angle\theta$ পরিমাণ ঘুরিয়া L′M′ অবস্থানে পৌঁছিল এবং সঙ্গে সঙ্গে অভিলম্ব ON ON′ স্থানে পৌঁছিল।

$$\therefore \quad \angle NON' = MOM' = \theta.$$

এই অবস্থায় প্রতিফলিত রশ্মিও দিক্ পরিবর্তন করিয়া OQ′ রশ্মিরূপে প্রতিফলিত হইল এবং প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী

প্রতিফলন $\angle Q'ON' =$ আপতন $\angle PON'$

$$\angle QOQ' = \angle Q'ON' - \angle QON'$$
$$= \angle PON' - \angle QON'$$
$$= (\alpha + \theta) - (\alpha - \theta)$$
$$= 2\theta$$

অর্থাৎ **প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণনের পরিমাণ দর্পণের ঘূর্ণনের দ্বিগুণ।**

(5) **প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন (Lateral inversion)**

আমরা যখন আয়নার সামনে দাঁড়াই তখন আমাদের ডান [illegible] প্রতিবিম্বের বাঁ হাত ও আমাদের বাঁ হাত প্রতিবিম্বের ডান হাত বলিয়া মনে হয়। প্রতিবিম্বে এইরূপ পরিবর্তনের নাম 'পার্শ্বীয় পরিবর্তন'। একটি কাগজে 'D' অক্ষর লিখিয়া আয়নার সামনে ধর, প্রতিবিম্বে 'ꓷ' (উল্টা 'D') দেখিবে। কোনও বৃত্তাকার বা প্রতিসম বস্তুর ক্ষেত্রে এইরূপ পার্শ্বীয় পরিবর্তন বুঝা যায় না।

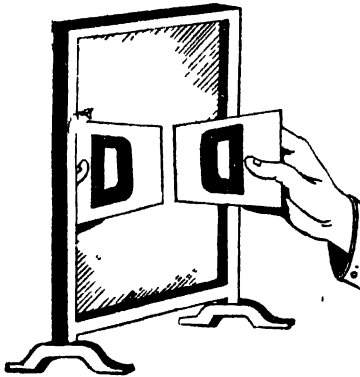



Fig 38—প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন

পার্শ্বীয় পরিবর্তনের কারণ বুঝা শক্ত নয়। বস্তুর প্রতিটি বিন্দুর প্রতিবিম্ব দর্পণের পশ্চাতে সেই বিন্দু হইতে অঙ্কিত অভিলম্বের উপর সমদূরে গঠিত হয়। ইহারই ফলে পার্শ্বীয় পরিবর্তন দেখা যায়।

কাগজে উল্টা অক্ষর লিখিয়া আয়নার সামনে ধরিলে পার্শ্বীয় পরিবর্তনের ফলে প্রতিবিম্বে সোজা অক্ষর দেখা যাইবে (চিত্র নং 38)।

দুইটি দর্পণে পর পর প্রতিফলন
(Multiple Reflection)

25. সমান্তরাল দর্পণ (Parallel mirrors)

দুইটি মাঝারি আকারের দর্পণ সংগ্রহ করিয়া টেবিলের উপর মুখোমুখি খাড়াভাবে বসাও। একটি ছোট মোমবাতি জ্বালিয়া উহাদের মধ্যে রাখ। এবার দর্পণ দুইটির মাঝামাঝি স্থানে চোখ রাখিয়া তাকাইলে প্রতিফলনের ফলে মোমবাতিটির পর পর অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।

একটি দর্পণে মাত্র একটি প্রতিবিম্ব হয় কিন্তু যেই তার মুখোমুখি আর একটি দর্পণ বসান যায় অমনি অসংখ্য প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হয়। ইহা খুবই আশ্চর্য মনে হয়। কিভাবে এইরূপ অসংখ্য প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হয় তাহা নীচের চিত্র হইতে বুঝিতে চেষ্টা কর।

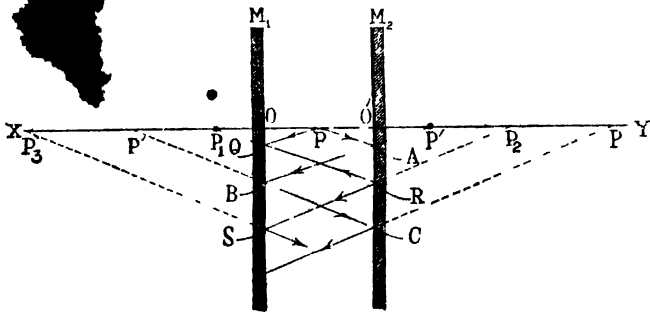



Fig 39—সমান্তরাল দর্পণ

M_1, M_2 দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে অবস্থিত P একটি আলোকবিন্দু। P বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া M_1, M_2 দর্পণে প্রতিফলিত হইতেছে। প্রথমে M_1 দর্পণে আপতিত PQ রশ্মির গতি অনুসরণ করে। PQ রশ্মি M_1 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া QR রশ্মিরূপে M_2 দর্পণে আপতিত হইতেছে। P বিন্দু হইতে উভয় দর্পণের উপর লম্ব অঙ্কিত করিয়া বর্ধিত কর। QR পশ্চাদ্দিকে বর্ধিত করিলে লম্বরেখাকে P_1 বিন্দুতে ছেদ করে। P_1 বিন্দু M_1 দর্পণে P বিন্দুর অসদ্বিম্ব এবং $OP_1 = OP$। QR রশ্মি P_1 বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে এবং উহা M_2 দর্পণ হইতে RS রশ্মিরূপে প্রতিফলিত হইবে। RS-কে পশ্চাদ্দিকে বর্ধিত করিলে XY লম্বকে P_2 বিন্দুতে ছেদ করিবে। সহজেই

দেখান যায় $O'P_1 = O'P_2$। P_2 বিন্দু যেন P_1 অসদ্‌বিম্বের একটি অসদ্‌বিম্ব হইল। পুনরায় RS রশ্মি M_1 দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইতেছে। এই রশ্মিটিকে পশ্চাদ্দিকে বর্ধিত করিলে লম্বরেখাকে P_3 বিন্দুতে ছেদ করে এবং $OP_2 = OP_3$। এই P_3 বিন্দুতে P_2 অসদ্‌বিম্বের একটি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইয়াছে। এইরূপ ক্রমান্বয়ে PQ রশ্মি একবার M_1 দর্পণ হইতে ও আর একবার M_2 দর্পণ হইতে প্রতিফলনের ফলে P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি অসদ্‌বিম্বগুলি গঠিত হইবে।

অনুরূপভাবে P বিন্দু হইতে M_2 দর্পণের উপর আপতিত PA রশ্মির গতিপথ PABC···অনুসরণ করিয়া বুঝিতে পারিবে যে, এই রশ্মির ক্রমান্বয়ে প্রতিফলনের ফলে পর পর P', P", P''' প্রভৃতি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। সহজেই দেখিতে পার $OP = O'P'$, $OP = OP''$, $O'P'' = O'P'''$ ইত্যাদি।

প্রশ্ন হইতে পারে, এইরূপ কতগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে? অবশ্য, পর পর প্রতিফলনের ফলে অসংখ্য প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে বাধা নাই কারণ লম্বরেখাটিকে যথেচ্ছ বর্ধিত করিয়া দর্পণ দুইটি হইতে সমদূরবর্তী বিন্দু যতখুশি পাওয়া যাইতে পারে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে প্রতিবার প্রতিফলনের সময়ই কিছু আলোকরশ্মি শোষিত হয় এবং অবশেষে আলোকরশ্মি এত ক্ষীণ হইয়া যায় যে, উহাদ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব আর দেখা যায় না। এজন্য প্রথম দুই-তিনটি প্রতিবিম্বের পশ্চাতে যে প্রতিবিম্বগুলি গঠিত হয়, সেগুলি ক্রমশই অনুজ্জ্বল দেখা যায়।

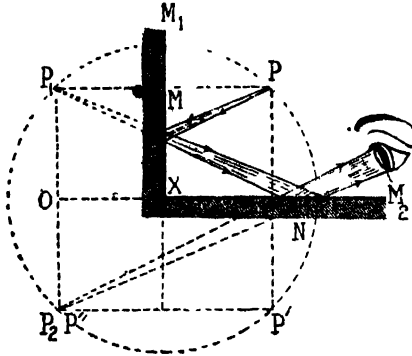
26. সমকোণে আনত দর্পণ (Mirrors inclined at right angles)

এবার M_1, M_2 দর্পণ দুইটিকে টেবিলের উপর উল্লম্বভাবে সমকোণে স্থাপন কর এবং পূর্বের মত দর্পণ দুইটির মধ্যে একটি মোমবাতি স্থাপন কর। দর্পণ দুইটির মধ্যে চোখ রাখিয়া তাকাইলে, মোমবাতির তিনটি প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। কিভাবে প্রতিবিম্বগুলি গঠিত হয় ও দেখা যায় তাহা 40নং চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে।

চিত্রে M_1, M_2 দর্পণদ্বয়ের উল্লম্ব তল কাগজের তলে X বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। উভয় দর্পণের সম্মুখে P একটি আলোকবিন্দু। P বিন্দু হইতে অপসৃত আলোকরশ্মি দর্পণ দুইটি হইতে প্রতিফলিত হইবার ফলে ইহার অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। P বিন্দুটি M_1 দর্পণের সম্মুখে, সুতরাং M_1 দর্পণের পশ্চাতে সমদূরে P_1 বিন্দুতে ইহার একটি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইবে এবং $P_1M = PM$ হইবে। P_1 অসদ্‌বিম্বটি আবার M_2 দর্পণের সম্মুখে, সুতরাং ইহার একটি প্রতিবিম্ব P_2 গঠিত হইবে M_2 দর্পণের পশ্চাতে এবং $P_1O = P_2O$ হইবে।

পুনরায় P আলোকবিন্দুটি M_2 দর্পণেরও সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া M_2 দর্পণের পশ্চাতে P′ বিন্দুতে ইহার একটি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইবে এবং P′N = PN হইবে। আবার অসদ্‌বিম্ব P′ M_1 দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত; সুতরাং M_1 দর্পণের পশ্চাতে সমদূরে P″ বিন্দুতে ইহার একটি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইবে। জ্যামিতির সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, P_2 এবং P″ বিন্দুদ্বয় সমাপতিত (coinci[illegible]) অতএব মোট প্র[illegible]সংখ্যা হইল তিন, যথা—P[illegible], P_2 বা P″। P_2 বা P″ বিন্দু উভয় দর্পণের পশ্চাতে বলিয়া আর কোনও প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না।

Fig 40—সমকোণে আনত দর্পণ

X বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া XP ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত আঁকিলে তাহা P_1, P_2, P′ বিন্দুত্রয়ের ভিতর দিয়া যাইবে অর্থাৎ প্রতিবিম্বগুলি X বিন্দু হইতে আলোকবিন্দুটির সমদূরবর্তী।

27. যে-কোনও কোণে আনত দর্পণ (Two mirrors inclined at any angle)

এবার M_1, M_2 দর্পণ দুইটিকে সমকোণে না রাখিয়া যে-কোনও কোণে ($90°$ হইতে কম) আনত ভাবে রাখিয়া দেখ প্রতিবিম্বের সংখ্যা বৃদ্ধি পাইয়াছে। ঠিক কয়টি প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে, তাহা নির্ভর করে কোণের পরিমাণের উপর। এই বিষয়ে একটি নিয়ম আছে; সেই নিয়মানুযায়ী প্রতিবিম্বের সংখ্যা হিসাব করিয়া বলা যায়। নিয়মটি এই—যদি কোণের পরিমাণ $\theta°$ হয় এবং প্রতিবিম্বের সংখ্যা n হয়, তাহা হইলে,

$n = \frac{360}{\theta} - 1$. অর্থাৎ যদি $\theta = 45°$ হয়, প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n = \frac{360}{45} - 1 = 7$।

ইহা তোমরা দুইটি দর্পণের সাহায্যে অনায়াসে পরীক্ষা করিয়া দেখিতে পার।

মনে কর, M_1OM_2 কোণে আনত দুইটি দর্পণের মধ্যে অবস্থিত P একটি আলোকবিন্দু। P বিন্দু হইতে OM_1, OM_2এর উপর লম্ব টানিয়া বর্ধিত কর এবং বর্ধিত লম্বের উপর P এর সমদূরবর্তী P_1, P′ বিন্দু লও। এই দুইটি বিন্দু যথাক্রমে M_1 ও M_2 দর্পণে গঠিত P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। পুনরায় P_1 অসদ্‌বিম্ব M_2 দর্পণের সম্মুখে এবং P′ অসদ্‌বিম্ব M_1 দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত থাকায় P_2 এবং P″ অসদ্‌বিম্বদ্বয় গঠিত হইবে। এই দুইটি অসদ্‌বিম্ব হইতে [illegible] বিম্ব আবার গঠিত হওয়া [illegible] P_3 এবং

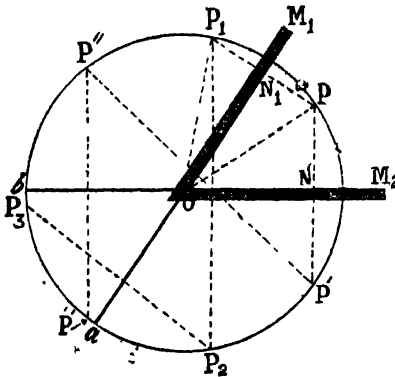



Fig 41—যে কোনও কোণে আনত দর্পণ

P‴ বিন্দুতে। এই দুইটি বিন্দু উভয় দর্পণেরই পশ্চাতে থাকায় আর প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে পারিবে না। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া OP ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কিত কর। দেখিবে সব প্রতিবিম্বগুলি এই বৃত্তের উপর অবস্থিত।

28. পেরিস্কোপ (Periscope)

দুইটি সমান্তরাল দর্পণের সাহায্যে অতি সহজে পেরিস্কোপ নামে একটি সুন্দর যন্ত্র তৈয়ারি করা যায়। সম্মুখে প্রাচীর বা অন্য কোনও বাধা থাকার জন্য যদি দূরের জিনিস না দেখা যায়, তাহা হইলে পেরিস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যে তাহা দেখা যাইতে পারে। চিত্র হইতে এই যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বুঝিতে পারিবে।

m_1, m_2 দুইটি সমান্তরাল সমতল দর্পণ একটি আয়তাকার কাঠের ফ্রেমের উপর ও নীচের দিকে এমন ভাবে বসান যে, উহাদের প্রতিফলক দিক দুইটি পরস্পর মুখোমুখি ও সমান্তরাল রাখিয়া যে-কোনও কোণে ঘুবান যায়। ফ্রেমের পরিবর্তে একটি লম্বা নলের মধ্যেও দর্পণ দুইটিকে বসাইবার ব্যবস্থা করা যাইতে পারে। ফ্রেমটি খাড়া অবস্থায় রাখিয়া নীচের m_2 দর্পণের ভিতর দিয়া তাকাইলে সম্মুখস্থ প্রাচীরের অপর পার্শ্বে বহুদূরের জিনিস দেখা যাইবে। পেরিস্কোপটি সরাইয়া

লইলে প্রাচীরের বাধার জন্য আর তাহা দেখা যাইবে না। কিভাবে পেরিস্কোপের ভিতর দিয়া দেখা যায় তাহা চিত্রে রশ্মিপথ অনুসরণ করিলে বুঝিতে পারিবে। দূর হইতে আলোকরশ্মি m_1 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া উল্লম্ব ভাবে m_2 দর্পণে পড়িতেছে। ঐ রশ্মি m_2 দর্পণে পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া অনুভূমিক পথে চোখে গিয়া পড়িতেছে। ইহার ফলে দূরস্থিত বস্তুসমূহকে দেখা যাইতেছে।

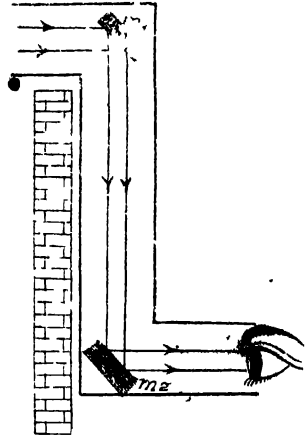



Fig 42—পেরিস্কোপ

কলিকাতার গড়ের মাঠে ভিড়ের পিছন হইতে খেলা দেখিবার জন্য অনেকে পেরিস্কোপ [illegible] যায়। এই ধরনের পেরি[illegible] পেরিস্কোপ (Simple Periscope) [illegible] যুদ্ধের সময় সমুদ্রের নীচে সাবমেরিন হইতে সমুদ্রের উপর শত্রুপক্ষের জাহাজ দেখিবার জন্যও এক প্রকার পেরিস্কোপ ব্যবহৃত হয়। সেগুলি আরও উন্নত ধরনের এবং দর্পণের পরিবর্তে প্রিজম দ্বারা তৈয়ারী।

29. ইটের ভিতর দিয়া দেখা (Seeing through a brick)

ইট অনচ্ছ পদার্থ। ইহার ভিতর দিয়া কোনও জিনিস দেখা যাইবার কথা নহে। কিন্তু চারিটি সমতল দর্পণের সাহায্যে এমন একটি মজার যন্ত্র তৈয়ারি করা যায়, যাহার সাহায্যে ইটের বাধা সত্ত্বেও ইটের বিপরীত দিকের জিনিস দেখা যায়।

AB ও CD দুইটি নল এক রেখায় অবস্থিত। নল দুইটি নীচের দিকে আরও তিন খণ্ড নল দ্বারা সংযুক্ত। D নলের ভিতর দিয়া তাকাইলে A নলের সম্মুখে অবস্থিত যে-কোনও জিনিস দেখা যাইবে। ইহাতে আশ্চর্য হইবার কিছু নাই। কিন্তু আশ্চর্যের কথা এই যে, নল দুইটির ফাঁকের মধ্যে একখানা ইট বা অন্য কোনও অনচ্ছ পদার্থ রাখিলেও

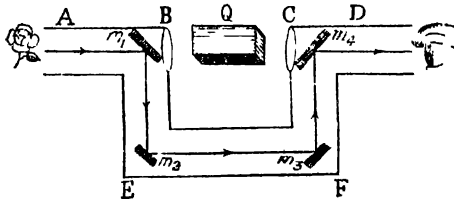



Fig 43— ইটের ভিতর দিয়া দেখা

ঠিক আগের মতই দেখা যাইবে। কিভাবে ইহা সম্ভব হয় তাহা নলের মধ্যে বসান দর্পণগুলির অবস্থান হইতে বুঝিতে পারিবে। যন্ত্রটি এমন ভাবে তৈয়ারী যে বাহির হইতে দর্পণগুলি দেখা যায় না।

30. ক্যালিডস্কোপ (Kaleidoscope)

এই যন্ত্রটি তোমরা অনেকেই দেখিয়া থাকিবে। একটি পুরু কাগজের বা পিচ বোর্ডের চোঙের একদিক একটি ঘষা কাচের চাকতি দ্বারা ও অন্যদিকে একটি স্বচ্ছ কাচের চাকতি দ্বারা আটকান। ঘষা কাচের দিকে কয়েকটি রঙীন পাথরের টুকরা থাকে। অপর দিক দিয়া ভিতরে তাকাইয়া চোঙটি আস্তে আস্তে ঘুরাইলে ঘষা কাচের উপর নানা রকমের সুন্দর সুন্দর নকৃশা দেখা যায়। ক্যালিডস্কোপের গঠন জানিলে তোমরা নিজেরাই ক্যালিডস্কোপ তৈরি করিতে পারিবে। ... বলিতে পারিবে কেন এইরূপ দেখা যায় ... বিম্ব ...

Fig. 44—ক্যালিডস্কোপের ভিতরের দৃশ্য

তিনটি সমতল দর্পণের সরু ... P ... পরস্পরের সহিত 60 কোণে সংলগ্ন ক...র চোঙের মধ্যে বসান থাকে। রঙীন পাথরের টুকরাগুলি এই দর্পণ তিনটির মধ্যে থাকে। দর্পণগুলি 60° কোণে আনত বলিয়া প্রত্যেক কোণে রঙীন পাথরের পাঁচটি করিয়া প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং নলের ভিতরে তাকাইলে এই সকল প্রতিবিম্ব দ্বারা গঠিত সুন্দর নকৃশা দেখা যায়।

31. জলের ভিতরে জ্বলন্ত মোমবাতি এবং অন্যান্য খেলা

আলোকের প্রতিফলনের সাহায্যে দৃষ্টিবিভ্রম ঘটাইয়া নানাবিধ ম্যাজিক এবং খেলা দেখান বহুকাল হইতেই চলিয়া আসিতেছে। ইহাদের মধ্যে তরবারি দ্বারা ভূতের গলা কাটা, জলের ভিতরে জ্বলন্ত মোমবাতি প্রভৃতি খুবই চমকপ্রদ।

তোমরা নিশ্চয়ই দেখিয়াছ রাত্রিতে বাহিরে যখন অন্ধকার থাকে এবং ঘরে আলো জ্বালান হয় তখন জানালার শার্সির ভিতর দিয়া ঘরের ভিতরের অনেক জিনিসের প্রতিবিম্ব বাহিরে দেখা যায়। আবার শার্সির ভিতর দিয়া বাহিরের কোনও কোনও জিনিসও দেখা যায়। এই প্রতিবিম্ব এবং প্রকৃত জিনিসের সংমিশ্রণে নানাবিধ বিভ্রম ঘটে।

মনে কর, ঘরের ভিতরে একটি লোক সাদা পোশাকে দাঁড়াইয়া আছে এবং বাহিরে তাহার প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব দেখা যায়। এই অবস্থায় সেই প্রতিবিম্বের

কাছে দাঁড়াইয়া একজন 'প্রকৃত' লোক যদি তরবারি দিয়া ঐ প্রতিবিম্বের মাথা কাটে তাহা হইলে ঘরের ভিতর হইতে মনে হইবে যে একজন লোক বুঝি সত্যই অন্যজনের গলার ভিতর দিয়া তরবারি চালাইয়া দিল কিন্তু তাহার কিছু হইল না।

আবার মনে কর, জানালার এপাশে একটি মোমবাতি জ্বালান হইল এবং বাহিরে সমান দূরে জলভরা একটি কাচের পাত্র রাখা হইল। একটু চেষ্টা করিলেই জানালাটা প্রয়োজনমত ঘুরাইয়া এমন অবস্থায় আনা যায় যে ঘরের ভিতর হইতে বাহিরে মোমবাতির প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব দেখা যায়। তখন প্রতিবিম্বটি দেখা যাইবে বাহিরে কাচের পাত্রে জলের মধ্যে এবং মনে হইবে জলের ভিতরে মোমবাতি জ্বলিতেছে।

ঘরের ভিতরের দর্শকের নিকট হইতে সহজেই সাদাপোশাক-পরিহিত লোকটিকে অথবা [illegible]টিকে আড়াল করিবার ব্যবস্থা করা যাইতে পারে।

অনুশীলনী

1. Explain what is meant by reflection of light. What is the difference between regular and diffused reflection ?
   আলোকের প্রাতফলন বলিতে কি বুঝায় ? নিয়মিত ও বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন কাহাকে বলে ? দৃষ্টান্ত দাও।
2. State the laws of regular reflection Describe the pin method of verifying these laws.
   নিয়মিত প্রতিফলনের নিয়ম কি ? ঐ নিয়মের সত্যতা কয়েকটি পিন ও সমতল দর্পণের সাহায্যে কিভাবে প্রমাণ করা যায় ?
3. Describe a Hartle's disc. How is it used to verify the laws of reflection ?
   একটি হার্টলের চাকতি বর্ণনা কর। ইহার সাহায্যে কিভাবে প্রতিফলনের নিয়মগুলির সত্যতা প্রতিপাদন করা যায় ?
4. What is an image ? What are real and virtual images ? Give examples.
   প্রতিবিম্ব কি ? সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব কাহাকে বলে ? দৃষ্টান্তের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

5. **Explain, by means of a diagram, how an image is formed by reflection in a plane mirror. Prove that the distances of the object and the image from the mirror are equal.**
সমতল দর্পণে প্রতিফলন দ্বারা কিভাবে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়—চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। প্রমাণ কর যে, দর্পণ হইতে বস্তু প্রতিবিম্বের দূরত্ব সমান।

6. How does the position of the image change when an object moves towards and away from a plane mirror ?
What is the relative motion between the object and its image when the former moves towards the plane mirror with a velocity of two metres per second ? [Ans. 4 metres per sec.]
কোনও সমতল দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বস্তুর গতির সহিত প্রতিবিম্বের কিরূপ পরিবর্তন হয় ? বস্তু সেকেণ্ডে 2 মিটার বেগে দর্পণের দিকে অগ্রসর হইলে, বস্তু ও প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক গতি কত হইবে ?

7. Prove that the ray reflected from a plane mirror ... through twice the angle turned through by the mirror.
প্রমাণ কর যে কোনও দর্পণের ঘূর্ণনের ফলে উহা হইতে প্রতিফলিত ... ঘূর্ণীত হয়।

8. Explain, with a diagram, the lateral inversion of ...age.
প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন কাহাকে বলে, চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া ...।

9. Draw diagrams to show formation of images by successive reflection from two mirrors when the mirrors are
   (i) parallel to one another,
   (ii) at right angles,
   (iii) inclined at an angle of 60°,
   (iv) inclined at an angle of 45.

নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলিতে দুইটি দর্পণে পর পর প্রতিফলনের ফলে কিরূপে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা চিত্র আঁকিয়া দেখাইয়া দাও :-
   (1) সমান্তরাল দর্পণ,
   (2) সমকোণে আনত দর্পণ,
   (3) 60° কোণে আনত দর্পণ,
   (4) 45 কোণে আনত দর্পণ।

10. Prove that a man can see his full-size image in a mirror of half his length.
আপন দেহের অর্ধেক দৈর্ঘ্য সম্পন্ন দর্পণে পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখা যায়—প্রমাণ কর।

11. Explain the action of a periscope. What is its use ?
পেরিস্কোপের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ইহা কি কাজে ব্যবহৃত হয় ?

তৃতীয় অধ্যায়

আলোর প্রতিসরণ

(Refraction of Light)

32. প্রতিসরণ (Refraction)

পরীক্ষা ঃ একটি আয়তাকার কাচপাত্র জলপূর্ণ করিয়া টেবিলের উপর রাখ। তারপর একটি আলোকের উৎস এমনভাবে বসাও যেন উহা হইতে একটি সরু রশ্মিগুচ্ছ জলের উপর তির্যক্ ভাবে পড়ে। আলোর পথে, বাতাসে কিছু চকের গুঁড়া ছড়াইয়া দিলে আলোকরশ্মির সরল পথ AB পরিষ্কার দেখা যাইবে। জলের মধ্যেও আলোকরশ্মির সরল পথ দেখিতে পাইবে কিন্তু দেখিবে AB ও BC এক সরল [illegible] আলোকরশ্মি বাতাসের মধ্যে [illegible]রেখায় চলিতে চলিতে B বিন্দুতে জ[illegible]া প্রবেশ করিবার পর যেন দিক্ পরি[illegible]রিয়া BC সরল রেখায় চলিতে আরম্ভ করিয়াছে।

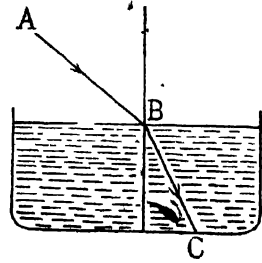



Fig 45—আলোকরশ্মির প্রতিসরণ

আমরা পূর্বে জানিয়াছি যে কোনও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোকরশ্মির পথ সরল। এই পরীক্ষায় দেখিলাম আলোকরশ্মি যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে তিযক্ ভাবে প্রবেশ করে, তখন উহার দিক্-পরিবর্তন হয়। আলোকরশ্মির এই দিক্-পরিবর্তনকে প্রতিসরণ বলে এবং দ্বিতীয় মাধ্যমের দিক্-পরিবর্তিত রশ্মিকে প্রতিস্থত রশ্মি বলে।

পরীক্ষা ঃ এবার উপরোক্ত কাচের পাত্রের তলায় একটি সমতল দর্পণ রাখিয়া পুনরায় পরীক্ষাটি কর। দেখিবে প্রতিস্থত রশ্মি BC দর্পণের C বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া CD রশ্মিরূপে জলের সমতলে আপতিত হইয়াছে এবং পুনরায় D বিন্দুতে বাতাসে প্রবেশ করিয়া DE রশ্মিরূপে প্রতিস্থত হইয়াছে। জলের পরিবর্তে অন্য যে-কোনও স্বচ্ছ তরল পদার্থ লইয়া এই পরীক্ষা করিলে অনুরূপ ঘটনা দেখিতে পাইবে।

চিত্রে, B ও D বিন্দুতে জলতলের উপর অভিলম্ব (normal) টানা হইয়াছে। AB রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে, তাহা বায়ুতে **আপতন কোণ** (angle of incidence) এবং BC রশ্মি জলের মধ্যে অভিলম্বের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে, তাহাকে বলে **প্রতিসরণ কোণ** (angle of refraction)। পুনরায় D বিন্দুতে অভিলম্বের সহিত CD রশ্মি যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা জলের মধ্যে আপতন কোণ এবং DE রশ্মি যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা বায়ুতে প্রতিসরণ কোণ।

Fig. 46—আলোকরশ্মির প্রতিসরণ

লক্ষ্য করিয়া দেখ **বায়ুতে আপতন কোণ অপেক্ষা জলে প্রতিসরণ কোণ ক্ষুদ্রতর** হয়। **জলে আপতন কোণ অপেক্ষা বায়ুতে প্রতিসরণ কোণ বৃহত্তর।** [illegible] বিম্ব [illegible] জলের উপর লম্বভাবে ফেলিয়া দেখ যে, আলোকরশ্মি লম্বভাবে [illegible] P_3 [illegible] মধ্যে [illegible] করে—কোনও দিক্-পরিবর্তন হয় না।

এই জাতীয় বহু পরীক্ষার ফলে বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে আসিয়াছেন যে, আলোকরশ্মি যদি এক সমসত্ত্ব মাধ্যম হইতে অন্য সমসত্ত্ব মাধ্যমে তির্যক্ ভাবে আপতিত হয়, তাহা হইলে আলোকরশ্মির দিক্-পরিবর্তন হয় এবং প্রথম মাধ্যম হইতে দ্বিতীয় মাধ্যম যদি ঘনতর হয়, তাহা হইলে প্রতিসৃত রশ্মি দ্বিতীয় মাধ্যমে অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং দ্বিতীয় মাধ্যম যদি লঘুতর হয়, তাহা হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায়।

33. প্রতিসরণের কয়েকটি সাধারণ দৃষ্টান্ত

Fig 47—জলপূর্ণ চৌবাচ্চার গভীরতা কম মনে হয়

(1) উপর হইতে একটি জলপূর্ণ চৌবাচ্চার তলার দিকে তাকাইলে চৌবাচ্চার গভীরতা উহার প্রকৃত গভীরতা হইতে কম বলিয়া মনে হয়। আলোর প্রতিসরণই যে ইহার কারণ, চিত্রে আলোকরশ্মির পথ লক্ষ্য করিলেই তাহা বুঝিতে পারিবে। চৌবাচ্চার তলায় A বিন্দু হইতে একগুচ্ছ আলোকরশ্মি জলতলে আপতিত হইবার পর বায়ুতে

প্রতিসৃত হইয়া চোখে প্রবেশ করিতেছে। প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ বর্ধিত করিলে জলের মধ্যে B বিন্দুতে মিলিত হয় অর্থাৎ চোখে A বিন্দুকে B বিন্দুতে অবস্থিত বলিয়া বোধ হয় (চিত্র নং 47)।

(2) মেজের উপর একটি বাটি রাখিয়া উহার মধ্যে একটি নয়া পয়সা বা ঐজাতীয় কোন মুদ্রা রাখ। মুদ্রাটির উপর দৃষ্টি রাখিয়া ক্রমশঃ বাটি হইতে দূরে সরিতে থাক। ঠিক যেখান হইতে মুদ্রাটি আর দেখা যাইবে না, সেখানে দাঁড়াও। এখন কাহাকেও [illegible] জল ঢালিতে [illegible]ার পর মুদ্রাটি [illegible]বে। ইহারও কারণ আলোর প্রতিসরণ। 48নং চিত্রে দেখ কিভাবে [illegible] প্রতিসৃত হইবার ফলে মুদ্রাটি দৃষ্টিগোচর হইয়াছে।

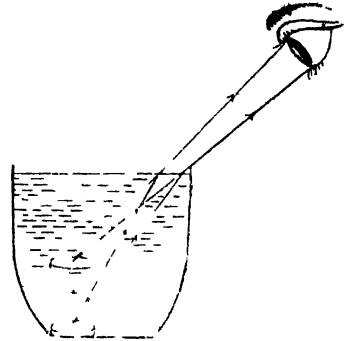



Fig 48—বাটি ও মুদ্রার পরীক্ষা

(3) [illegible] জলে অথবা এক গামলাভর্তি জলে একটি লাঠি কাত করিয়া ঢুকাইয়া দাও। উপর হইতে তাকাইলে মনে হইবে যে, লাঠিটি ঠিক যেখানে জলে প্রবেশ করিয়াছে, সেখানটাতে যেন ভাঙ্গিয়া গিয়াছে এবং নিমজ্জিত অংশটি উপরের অংশটির সহিত আর একরেখায় নাই। 49নং চিত্রে দেখ ABC লাঠির C প্রান্তকে আলোকরশ্মির প্রতিসরণের জন্য D বিন্দুতে দেখা যাইতেছে এবং নিমজ্জিত BC অংশকে BD বলিয়া মনে হইতেছে।

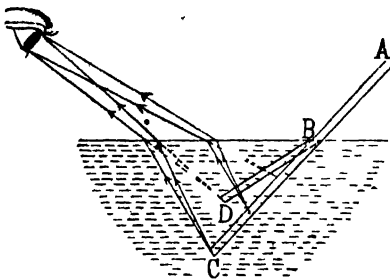



Fig 49—জলে কাত করিয়া ডোবান লাঠি ভাঙ্গা মনে হয়

34. প্রতিসরণের নিয়ম (Laws of refraction)

অনেক পরীক্ষার ফলে জানা গিয়াছে যে, আলোকরশ্মির দিক্-পরিবর্তনের পরিমাণ নির্ভর করে তিনটি জিনিসের উপর—(1) আলোর বর্ণ, (2) মাধ্যম ও

(৩) আপতন কোণ। প্রতিফলনের যেমন দুইটি নিয়ম আছে, প্রতিসরণের ক্ষেত্রেও নিম্নলিখিত দুইটি নিয়ম পরীক্ষাদ্বারা জানিতে পারা গিয়াছে :

(1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদতলের (plane of separation) উপর অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা এক সমতলে থাকে।

(2) আপতন কোণের সাইন (sine) এবং প্রতিসরণ কোণের সাইন (sine)—এই দুই রাশির অনুপাত একটি ধ্রুবক এবং এই ধ্রুবকের মান আলোর বর্ণ এবং মাধ্যম দুইটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

স্নেলের সূত্র (Snell's Law)

প্রতিসরণের দ্বিতীয় নিয়মটি স্নেলের সূত্র নামে পরিচিত। যদি আপতন কোণকে 'i' এবং প্রতিসরণ কোণকে 'r' বলা হয় তাহা হইলে এই সূত্রানুসারে

$$\frac{\text{Sin i}}{\text{Sin r}} = \mu,$$ (ধ্রুবক—উচ্চারণ 'মিউ')

এই ধ্রুবক μ-কে প্রথম মাধ্যমের তুলনায় দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (refractive index) বলা হয়।

মনে কর, আলোকরশ্মি বায়ু-মাধ্যম হইতে একটি কাচে আসিয়া তির্যক্‌ ভাবে আপতিত হইয়া প্রতিসৃত হইতেছে। পরীক্ষা করিয়া দেখা যায় মাধ্যমে আপতন কোণ 'i' এর পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে প্রতিসরণ কোণ 'r' পরিবর্তিত হয়। কিন্তু $\frac{\sin i}{\sin r}$ এই অনুপাতের পরিমাণ সর্বদাই 1·51 থাকে। এখানে বায়ুর তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51।

35. পরীক্ষা দ্বারা স্নেলের সূত্রের যাথার্থ্য প্রতিপাদন (Experimental verification of Snell's law)

পরীক্ষাগারে দুই উপায়ে স্নেলের সূত্রের যাথার্থ্য প্রতিপাদন করা যাইতে পারে—(1) হার্টলের চাকতি দ্বারা, (2) পিন দ্বারা।

(1) হার্টলের চাকতি দ্বারা :

হার্টলের চাকতির সঙ্গে তোমাদের পূর্বেই পরিচয় হইয়াছে। এই যন্ত্রের সাহায্যে স্নেলের সূত্র সুন্দরভাবে প্রতিপাদন করা যাইতে পারে।

অর্ধবৃত্তাকার একটি পুরু কাচের প্লেট ADB হার্টলের চাকতির মধ্যস্থলে এমনভাবে আটকাইয়া দাও যেন ইহার সরল ধার AB চাকতির 90°– 90° ব্যাস বরাবর থাকে এবং AB সমতল চাকতির তলের উপর লম্বভাবে অবস্থিত হয়। এই অবস্থায়

চাকতির 0°—0° ব্যাস কাচের প্লেটের AB সমতলের উপর অভিলম্ব। এখন 'S' পর্দার ভিতর দিয়া সরু একফালি রশ্মি POকে AB তলের উপর তির্যক্ ভাবে পড়িতে দাও। দেখিবে, এই আপতিত রশ্মির এক অংশ OM রশ্মিরূপে প্রতিফলিত হইবে এবং অন্য অংশ OC রশ্মিরূপে অর্ধবৃত্তাকার প্লেটে প্রবেশ করিয়া সোজা OCQ পথে বাহির হইয়া যাইবে। আপতন কোণ এবং প্রতিসরণ কোণের পরিমাণ চাকৃতির উপর অঙ্কিত ডিগ্রীস্কেল হইতে নির্ণয় কর, তারপর চাকৃতিটি একটু ঘুরাইয়া আপতন কোণের পরিমাণ পরিবর্তন কর, [illegible] প্রতিসরণ কোণও পরিবর্তিত হই[illegible] ভিন্ন আপতন কোণের (i) [illegible]র (r) পরিমাণ নির্ণয় কর এবং ছ[illegible] (নীচে একটি ছকের নমুনা দেওয়া হ[illegible] প্রতিক্ষেত্রেই Mathematical table হ[illegible] ও sin r জানিয়া $\frac{\sin i}{\sin r}$ এর পরিমাণ নির্ণয় কর। প্রতিক্ষেত্রে শেষোক্ত অনুপাতের (প্রায়) সমতা স্নেলের সূত্র প্রতিপন্ন করিবে। অর্ধবৃত্তাকার কাচের প্লেটের স্থলে একটি অধবৃত্তাকার কাচের পাত্র লইয়া জলে ভর্তি কর—যেন পাত্রের জলের সমতল 90°—90° ব্যাস বরাবর থাকে। পুনরায় উপরোক্ত উপায়ে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ নির্ণয় করিয়া স্নেলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা কর।

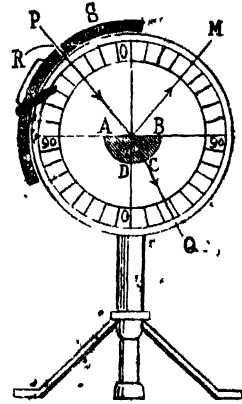



Fig 50—হার্টলের চাক্তির সাহায্যে স্নেলের সূত্র প্রতিপাদন

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন কোণ (i)	প্রতিসরণ কোণ (r)	Sin i	Sin r	$\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \mu$
1					
2					
3					
4					
5					

(2) পিন দ্বারা :

এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজন, একটি অঙ্কনবোর্ড, সাদা কাগজ, একটি আয়তাকার কাচখণ্ড, পাঁচ-ছয়টি আলপিন, রুলার, পেন্সিল, কম্পাস।

অঙ্কনবোর্ডের উপর সাদা কাগজটি আঁটিয়া ইহার মধ্যস্থলে আয়তাকার কাচখণ্ডটি স্থাপন কর। পেন্সিল দ্বারা কাগজটির উপর ইহার বহীরেখা (outline) ABCD আঁক। AB রেখার মাঝামাঝি জায়গায় কাচখণ্ডের খাড়া গা ঘেঁষিয়া লম্বভাবে একটি পিন P পোঁত ও ইহার কিছু দূরে আর একটি পিন P_1 পোঁত, যেন ... টি ABর উপর তির্যক ... অপর পার্শ্ব হই... দিয়া P ও P_1 ... র দিকে তাকাও। C... ঘেঁষিয়া

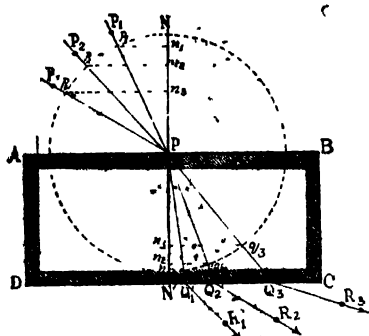



Fig 51—পিনের সাহায্যে স্নেলের সূত্র প্রতিপাদন

একটি পিন Q এবং ইহার কিছুদুরে R_1 পিন এমন ভাবে ... P_1, P, Q_1, R_1 এক সরলরেখায় মনে হয়। P_1, Q_1, R_1 বিন্দুগুলি পেন্সিলদ্বারা চিহ্নিত করিয়া পিনগুলি উঠাইয়া লও (P পিনটিকে উঠাইবে না)। পুনরায় P_2 বিন্দুতে একটি পিন পুঁতিয়া পূর্বের মত কাচখণ্ডের অপর পার্শ্ব হইতে তাকাইয়া Q_2, R_2 পিন পোঁত যেন P_2, P, Q_2, R_2 একরেখায় মনে হয়। পুনরায় P_2, Q_2 ও R_2 পিন উঠাইয়া অনুরূপভাবে P_3, Q_3 ও R_3 পিনের অবস্থান চিহ্নিত কর। তারপর কাচখণ্ডটি কাগজ হইতে সরাইয়া একদিকে P_1P, P_2P, P_3P এবং অন্যদিকে Q_1R_1, Q_2R_2, Q_3R_3 রেখা অঙ্কিত কর। PQ_1, PQ_2 এবং PQ_3 যোগ কর এবং P বিন্দুতে NPN' লম্ব টান। এইবার কাগজে অঙ্কিত চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে যে P_1P, P_2P ও P_3P এই তিনটি রশ্মি কাচখণ্ডের AB তলের P বিন্দুতে আপতিত হইয়া যথাক্রমে PQ_1, PQ_2 ও PQ_3 রশ্মিরূপে প্রতিসৃত হইয়াছে। চাঁদার সাহায্যে আপতন কোণ (i) P_1PN, P_2PNএবং P_3PN ও প্রতিসরণ কোণ (r) Q_1PN', Q_2PN' এবং Q_3PN' মাপিয়া তালিকাভুক্ত কর এবং Mathematical

tables-এর সাহায্যে প্রতিক্ষেত্রে $\frac{\sin i}{\sin r}$-এর মান নির্ণয় কর। দেখিতে পাইবে এই মান প্রতিক্ষেত্রে প্রায় একই। ইহা দ্বারাই স্নেলসূত্রের যাথার্থ্য প্রতিপন্ন হয়।

চাঁদার সাহায্যে কোণ না মাপিয়াও $\frac{\sin i}{\sin r}$-এর মান নির্ণয় করা যায়। P বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া প্রায় PN'এর সমান ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কিত কর। মনে কর, এই বৃত্তটি আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মিগুলিকে যথাক্রমে p_1, p_2, p_3 ও q_1, q_2, q_3 বিন্দুতে ছেদ করে। এই বিন্দুগুলি হইতে অভিলম্ব NN'এর উপর $p_1n_1, p_2n_2, p_3n_3, q_1n_1, q_2n_2, q_3n_3$ লম্ব টান।

এখন দেখ,

$$\frac{\sin P[illegible]}{\sin [illegible]} = \frac{[illegible]/Pp_1}{[illegible]n_1/Pq_1} = \frac{p_1n_1}{q_1n_1} \quad [\because \ Pp_1 = Pq_1, \text{ একই বৃত্তের ব্যাসার্ধ বলিয়া}]$$

[illegible] লম্বদ্বয়ের দৈর্ঘ্য মাপিয়াই $\frac{\sin i}{\sin r}$ এর মান নির্ণয় করা যায়। [illegible] p_3n_3, q_3n_3 লম্বের দৈর্ঘ্য মাপিয়া অপর দুইটি রশ্মির ক্ষেত্রেও [illegible] $\frac{\sin i}{\sin r}$ এর মান নির্ণয় করা যায়। তোমরা কোণ মাপিয়া এবং লম্ব মাপিয়া—এই দুই উপায়েই স্নেলের সূত্রের যাথার্থ্য পরীক্ষা করিবে। উভয়ক্ষেত্রেই পর্যবেক্ষণের ফল কিভাবে ছকে সন্নিবিষ্ট করিতে হয় তাহার নমুনা দেওয়া হইল।

(1) কোণ মাপিয়া—

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন কোণ (i)	প্রতিসরণ কোণ (r)	Sin i	Sin r	Sin i / Sin r
1	24°	15·5°	·407	·267	1·52
2					
3					
4					
5					

(2) লম্ব মাপিয়া—

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন রশ্মি হইতে লম্ব p_i	প্রতিসৃত রশ্মি হইতে লম্ব p_r	$\frac{p_i}{p_r}$
1	2·1	1·4	1·50
2			
3			
4			
5			

36. প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (Determination of re[illegible])

আমরা জানি প্রতিসরাঙ্ক $\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$ । সুতরাং [illegible] করিবার জন্য আমবা যে পরীক্ষা করিয়াছি তাহা হইতেই প্রতিস[illegible]রাঙ্ক [illegible] হইতে পারে।

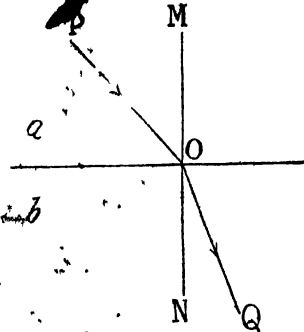
হার্টলের চাকৃতির পরীক্ষার নীচে যে ছক দেওযা হইয়াছে তা[illegible] শেষ স্তম্ভে $\frac{\sin i}{\sin r}$ এব মান আছে। মনে কব কাচ লইয়া পবীক্ষায পাঁচটি $\frac{\sin i}{\sin r}$ এর মানের গড় 1·51। সুতবাং আমবা বলিতে পারি বায়ুব তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51। জলের ক্ষেত্রে পাঁচটি-$\frac{\sin i}{\sin r}$ এর মানের গড় 1·33। সুতরাং বায়ুর তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33।

37. পরম ও আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক (Absolute and relative refractive index)

এক মাধ্যমের তুলনায় অপর মাধ্যমেব প্রতিসবাঙ্ককে আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

সাধারণভাবে বলা যায়, যদি কোনও মাধ্যম 'a' হইতে আলোকরশ্মি অপর কোনও মাধ্যম 'b'তে তির্যক্ ভাবে প্রবেশ করে তাহা হইলে 'a' মাধ্যমে আপতন

কোণের সাইন (sine) ও 'b' মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে 'a' মাধ্যমের তুলনায় 'b' মাধ্যমের (আপেক্ষিক) প্রতিসরাঙ্ক বলে এবং ${}_a\mu_b$ লিখিয়া ইহা প্রকাশ করা হয়।

শূন্য মাধ্যমের (vacuum) তুলনায় কোনও 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককে এই মাধ্যমের পরম (absolute) প্রতিসরাঙ্ক বলে এবং ${}_v\mu_b$ বা শুধু μ_b লিখিয়া প্রকাশ করা হয়। পরম প্রতিসরাঙ্ক ও বায়ুর তুলনায় প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে পার্থক্য খুব কম বলিয়া সাধারণতঃ কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিতে বায়ুর [illegible] প্রতিসরাঙ্কই বুঝায়।

38. ${}_a\mu$[illegible] [illegible]ম্পর্ক

[illegible] মাধ্যমের তুলনায় 'b' [illegible] [illegible]রাঙ্ক বুঝায়, ${}_b\mu_a$ বলি[illegible] [illegible]মের তুলনায় 'a' [illegible] বুঝায়। 52নং চিত্রে [illegible] হতে b মাধ্যমে OQ রশ্মিরূপের প্রতিসৃত হইতেছে।

Fig 52—আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক

$$\therefore \quad {}_a\mu_b = \frac{\sin POM}{\sin QON}$$

আলোকরশ্মি প্রত্যাবর্তনশীল (reversible)। সুতরাং QO রশ্মিকে যদি b মাধ্যমে আপতিত রশ্মি মনে করা যায় তবে OP হইবে 'a' মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি

এবং $\quad {}_b\mu_a = \dfrac{\sin QON}{\sin POM}$.

$$\therefore \quad {}_a\mu_b \times {}_b\mu_a = \frac{\sin POM}{\sin QON} \times \frac{\sin QON}{\sin POM} = 1$$

$$\therefore \quad {}_b\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_b}.$$

আমরা দেখিয়াছি,

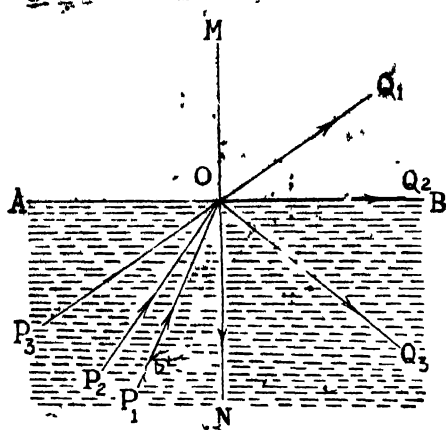
$$\text{বায়ু}\ \mu\ \text{জল} = 1{\cdot}33$$

$$\therefore \quad \text{জল}\ \mu\ \text{বায়ু} = \frac{1}{1{\cdot}33} = {\cdot}75.$$

39. আভ্যন্তরীণ পূর্ণপ্রতিফলন (Total internal reflection)

আমরা জানি যে আলোকরশ্মি যখন ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর হয়।

মনে কর, জলের অভ্যন্তরে P_1O একটি আলোকরশ্মি AB তলের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OQ_1 রূপে প্রতিসৃত হইতেছে। এখানে প্রতিসরণ $\angle Q_1OM >$ আপতন $\angle P_1ON$।

Fig আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন

আপতন কোণ ক্রমশঃ বা[illegible] প্রতিসরণ কো[illegible] থাকিবে কি[illegible] আ[illegible] হইবে [illegible] ক [illegible] তন কোণ [illegible] P [illegible] ইতে এমন একটি [illegible] আসিয়া পৌঁছাইতে পারে যখন প্রতিসরণ কোণ 90° হইবে। সেই অবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মি AB তল ঘেঁষিয়া যাইবে। মনে কর, P_2O এইরূপ একটি আপতিত রশ্মি যাহার প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 AB তল ঘেঁষিয়া যায়।

এখন স্বভাবতঃই মনে প্রশ্ন উঠিবে যে আপতন কোণ যদি আরও বাড়ান যায় তাহা হইলে কি হইবে ? মনে কর, P_3O রশ্মির আপতন কোণ $P_3ON > P_2ON$। এক্ষেত্রে দেখা যাইবে P_3O রশ্মির কোনও প্রতিসৃত রশ্মি নাই। তৎপরিবর্তে P_3O রশ্মি প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী AB তলে প্রতিফলিত হইয়া OQ_3 রশ্মিরূপে পুনরায় জলে প্রবেশ করিতেছে। এখানে জল ও বায়ু-মাধ্যমের বিভেদতল (plane of separation) AB পূর্ণপ্রতিফলকের কাজ করিতেছে। ইহাকেই আভ্যন্তরীণ পূর্ণপ্রতিফলন (Total internal reflection) বলে।

আপতন কোণ P_2ONকে মাধ্যমদ্বয়ের মধ্যে **সঙ্কট কোণ** (i_c) (critical angle) বলে। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, **যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণের পরিমাণ 90° তাহাকে মাধ্যমদ্বয়ের মধ্যে সঙ্কট কোণ বলে।**

40. সঙ্কট কোণ নির্ণয় (Determination of the critical angle)

পরীক্ষা : 35 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পরীক্ষায় হার্টলের চাকতিটি এমনভাবে ঘুরাইয়া রাখ যে কাচের প্লেটের বৃত্তাকার ধারটি 90°—90° ব্যাসের উপরদিকে থাকে (54নং চিত্র) । PD রশ্মিগুচ্ছ বৃত্তাকার ধা... সোজা ... বিন্দুতে আপ... প্রতিসৃত হয়। ...D রশ্মি লম্ব... কাচের মধ্যে ... হয় না)। চাকতি... ঘুরাইয়া আপতন কোণ বাড়াইতে থাক। এক অবস্থায় বায়ুতে কোনও প্রতিসৃত রশ্মি দেখা যাইবে না। ঠিক যখন ইহা ঘটে সেই অবস্থায় চাকতির উপর অঙ্কিত স্কেলে আপতন কোণের পরিমাণ দেখিয়া লও। ইহাই কাচ ও বায়ুর মধ্যে সঙ্কট কোণ।

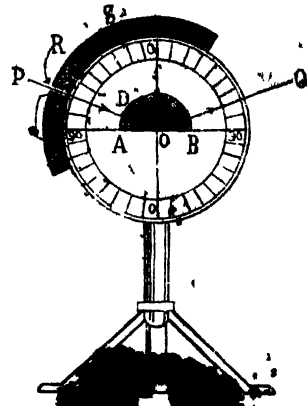



Fig. ...—হার্টলের চাকতির সাহায্যে সঙ্কট কোণ নির্ণয়

চাকতিটি ঘুরাইয়া আপতন কোণ আরও বৃদ্ধি করিলে কাচের মধ্যে আভ্যন্তরীণ-ভাবে পূর্ণপ্রতিফলিত রশ্মি দেখা যাইবে। (54নং চিত্রে এই অবস্থা দেখান হইয়াছে।)

অর্ধবৃত্তাকার কাচের পাত্রে যে-কোনও তরল পদার্থ ভর্তি করিয়া ঐ তরল পদার্থ ও বায়ুর মধ্যে সঙ্কট কোণ নির্ণয় করিতে পার।

41. সঙ্কট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক

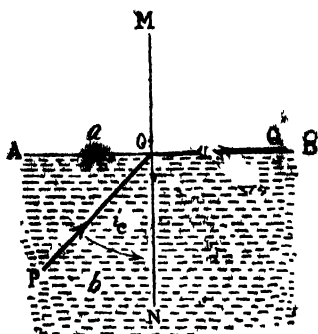



Fig. 55—সঙ্কট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক

55নং চিত্র দেখ। AB a ও b দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলের ছেদ। মনে কর, PO রশ্মি ঘনতর মাধ্যম 'b'তে সঙ্কট কোণে (i_c) আপতিত হইয়া OQ রশ্মিরূপে 'a' মাধ্যমে AB তল ঘেঁষিয়া প্রতিসৃত হইতেছে।

$$_b\mu_a = \frac{\sin PON}{\sin QOM} = \frac{\sin i_c}{\sin 90^\circ} = \sin i_c$$

$$\therefore \quad \sin i_c = \frac{1}{[illegible]}$$

বা $i_c =$ [illegible]

42 দৃষ্টান্ত ঃ

(1) $_{বায়ু}\mu_{কাচ} = 1{\cdot}51$

$\therefore$ বায়ু ও কাচের মধ্যে সঙ্কট কোণ $i_c = \sin$ [illegible]

$= \sin^{-1} 0$[illegible]

$= 41^\circ 27'$.

(2) $_{বায়ু}\mu_{জল} = 1{\cdot}33$

$\therefore$ সঙ্কট কোণ $i_c = \sin^{-1} \frac{1}{1{\cdot}33}$

$= \sin^{-1} 0{\cdot}7518$

$= 48^\circ 44'$.

43. নিম্নে কয়েকটি ক্ষেত্রে বায়ুর তুলনায় প্রতিসরাঙ্ক এবং সঙ্কট কোণের একটি তালিকা দেওয়া হইল।

বস্তু	প্রতিসরাঙ্ক	সঙ্কট কোণ
ক্রাউনকাচ	1·52	41·45°
ফ্লিণ্টকাচ	1 62	38·12°
হীরক	2 60	24·25°
জল	1·33	48·75°
গ্লিসারিন	1·47	43·15°
তারপিন তৈল	1·47	43·15°

44. পূর্ণপ্রতিফলনের কতিপয় দৃষ্টান্ত ও প্রয়োগ

(1) একটি বীকার জলধারা অর্ধেক ভর্তি করিয়া উহার মধ্যে একটি চামচ ডুবাইয়া দাও। বীকারটি কাত করিয়া ধরিয়া তলার দিক হইতে উপরে জলতলের দিকে তাকাও। জলতলের নীচে [illegible] আয়নার মত চক্‌চক্‌ করিবে এবং চামচের নিমজ্জিত অংশের একটি প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। জলের অভ্যন্তর হইতে যে সকল আলোকরশ্মি সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে জলতলে আপতিত হয় তাহারা পূর্ণপ্রতিফলিত হইয়া চোখে প্রবেশ করে [illegible] এরূপ মনে হয়।

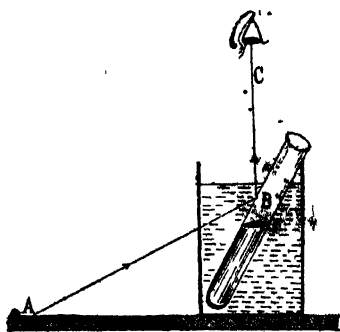
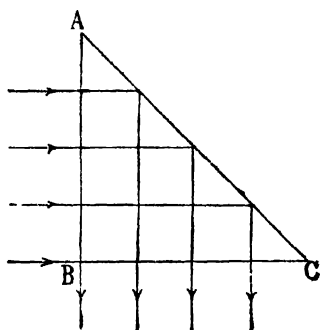
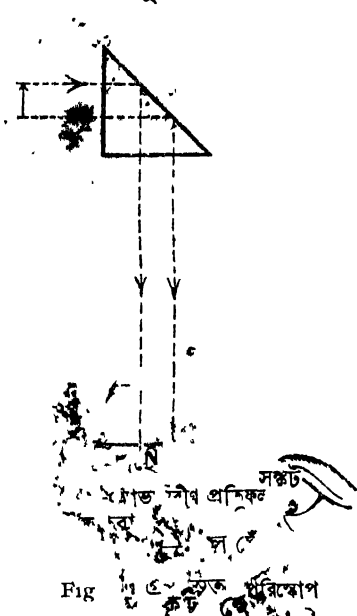



Fig 56—পূর্ণপ্রতিফলনের দৃষ্টান্ত

(2) [illegible] তিন-[illegible] জলপূর্ণ [illegible] কাত করিয়া [illegible])। উপর হইতে [illegible] টিউবের নিমজ্জিত [illegible] জল নাই তাহা [illegible] আলোকরশ্মির পূর্ণপ্রতিফলনই ইহার কারণ। AB রশ্মি BC [illegible] B বিন্দুতে পূর্ণপ্রতিফলিত হইয়া চোখে প্রবেশ করিতেছে।

Fig 57—পূর্ণপ্রতিফলনের প্রিজ্‌ম

(3) [illegible] দ্বিবাহু সমকোণী [illegible] AB তলের উপর লম্ব [illegible] সমান্তরাল রশ্মিগুলি AC [illegible] উপর 45° কোণে আপতিত হইতেছে—অর্থাৎ কাচ ও বায়ুর সঙ্কট কোণ 41° হইতে বৃহত্তর কোণে আপতিত হইতেছে। সুতরাং রশ্মিগুলি AC তলে পূর্ণপ্রতিফলিত হইবার পর BC তলের উপর লম্বভাবে আপতিত হইয়া সোজা বাহির হইয়া যাইতেছে। BC তলের সম্মুখে চোখ

রাখিলে AB তলের সম্মুখে অবস্থিত যে-কোন বস্তুর একটি উজ্জ্বল প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। এজন্য এই জাতীয় কাচ-প্রিজ্‌মকে পূর্ণপ্রতিফলক প্রিজ্‌ম বলে। পূর্ণপ্রতিফলক প্রিজ্‌ম দ্বারা যে প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয় সাধারণ দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব হইতে তাহা স্পষ্টতর ও উজ্জ্বলতর।

(4) একটি ভুসাকালি মাখান ধাতুর বা কাচের বল একটি বড় [illegible] পাত্রে জলের মধ্যে ডুবাইয়া দাও। বলটি চক্‌চক্‌ করিতেছে দেখা যাইবে। ইহারও কারণ পূর্ণপ্রতিফলন। ভুসাকালি মাখান বলটি জলে ডুবাইবার সময় উহার চতুর্দিকে [illegible] স্তর সংলগ্ন থাকিয়া [illegible] এই বায়ুস্তরে [illegible] মধ্যে [illegible] বলটি চক্‌[illegible]

(৫) [illegible] স্কোপ (Prism [illegible]) সাধারণ [illegible] P [illegible] তোমাদিগকে বলিয়াছি [illegible] ধরনের পেরিস্কোপে সাধারণ দর্পণের পরিবর্তে পূর্ণপ্রতিফলক প্রিজ্‌ম ব্যবহৃত হয়। ইহাতে প্রতিবিম্ব অধিকতর স্পষ্ট ও উজ্জ্বল হয়।

45. পূর্ণপ্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত

(1) **মরীচিকা (Mirage)**—মরুভূমিতে পথ চলিতে চলিতে অনেক সময় দূরবর্তী গাছপালার উল্টা প্রতিবিম্ব নীচে দেখা যায় এবং ইহার ফলে যেখানে জল নাই, সেখানেও জলাশয় আছে বলিয়া ভ্রম হয়। এইরূপ দৃষ্টিবিভ্রমকে মরীচিকা বলে। মরীচিকার কারণ বায়ুস্তরে আলোকরশ্মির আভ্যন্তরীণ পূর্ণপ্রতিফলন।

সূর্যতাপে মরুভূমির বালি অত্যন্ত উত্তপ্ত হইলে উহার সংলগ্ন বায়ুস্তরও উত্তপ্ত হয়। সেই সময় মরুভূমির সংলগ্ন বায়ুস্তর অপেক্ষা উহার উপরের স্তরের বায়ুর উষ্ণতা কম থাকে এবং কিছুদূর অবধি ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠিতে থাকা যায় বায়ুর উষ্ণতা তত কমিতে থাকে। আমরা [illegible] বস্তুর উষ্ণতা যত কমিতে থাকে ঘনত্ব তত বাড়িতে থাকে। সুতরাং উত্তপ্ত মরুভূমির উপরস্থ বায়ুমণ্ডলকে আমরা কতকগুলি ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের স্তরে বিভক্ত বলিয়া মনে করিতে [illegible]

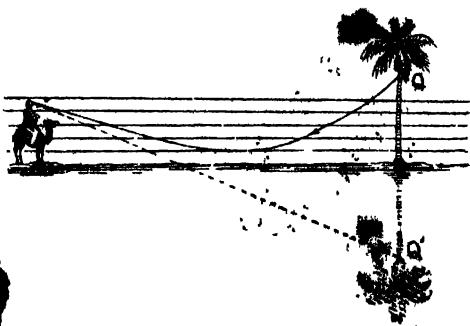



Fig. 59—মরুভূমিতে মরীচিকা

[illegible] একস্তর হইতে অন্যস্তরে প্রতিসৃত হইতেছে এবং আ[illegible]শঃ বৃদ্ধি পাইতেছে। অবশেষে একস্তরে আপতন কো[illegible]াইয়া সেই স্তর ও তৎপরবর্তী স্তরের অন্তর্গত সঙ্কট কোণ [illegible] হইয়াছে। তখন আলোকরশ্মি আর প্রতিসৃ[illegible] হইয়া আভ্যন্তরীণ পূর্ণপ্রতিফলনের জন্য উধ্ব'গামী [illegible] অতিক্রম করিবার ফলে উপরের দিকে অধিকতর বাঁকিয়া [illegible] পথিকের চোখে প্রবেশ করিতেছে। ইহার ফলে গা[illegible] প্রতিবিম্ব মরুভূমির নীচে দেখা যাইতেছে। এইভাবে সম[illegible] উল্টা প্রতিবিম্ব পথিক দেখিতে পায় এবং পথিকের মনে জল[illegible] হয়।

(2) **বরফের দেশে মরীচিকা**—শীতপ্রধান মেরুদেশে ঠিক বিপরীত কারণে এক প্রকার মরীচিকা দেখা যায়। উহাতে দূরবর্তী জাহাজ প্রভৃতি বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলিতে দেখা যায়। এখানে সমুদ্র বা বরফ-সংলগ্ন বায়ুস্তর অত্যন্ত শীতল এবং উপরের বায়ুস্তর অপেক্ষাকৃত উষ্ণ এবং লঘুতর। জাহাজ হইতে উধ্ব'গামী আলোকরশ্মি ক্রমশঃ লঘু বায়ুস্তরে প্রতিসৃত হইতে হইতে

অবশেষে উপরের এক স্তরে পূর্ণপ্রতিফলিত হইয়া নিম্নগামী [illegible] এবং ঐ রশ্মির প্রলম্বিত রেখায় আকাশে জাহাজের উল্টা প্রতিবিম্ব ভাসিতে দেখা যায়।

(3) হীরকের ঔজ্জ্বল্য—হীরকের প্রতিসরাঙ্ক 2·6 এবং সঙ্কট কোণ 24·25°। সুতরাং হীরকের উপর আপতিত আলোকরশ্মি[illegible] মধ্যে যাহাদের আপতন কোণ 24·25°র কম তাহারা হীরকের ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হয়। অন্যান্য রশ্মিগুলি বিভিন্ন কোণে হীরক [illegible] পূর্ণপ্রতিফলিত হয়। এজন্য বি[illegible] আলোকেও একটি হীরকখণ্ডকে নানা দিক হইতে জ্বল জ্বল করিতে দেখা যায়।

46. প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ (Refraction of light through a prism)

তোমাদিগকে পূর্ণপ্রতিফলক কাচ-প্রিজ্‌মের কথা [illegible] (অনুচ্ছেদ 43)। তোমরা ঐরূপ প্রিজ্‌ম দিয়া হয়ত পূর্ণপ্রতিফলনের [illegible] প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া কিভাবে আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হয় এবং [illegible] গঠিত হয় সে সম্বন্ধে কোনও পরীক্ষা বা আলোচনা [illegible] সে সম্বন্ধে কিছু কিছু আলোচনা ও পরীক্ষা করিব।

47. প্রিজ্‌ম (Prism)—একটি স্বচ্ছ [illegible] হয় যে উহা ছয়টি আয়তক্ষেত্রিক তলদ্বারা সীমাবদ্ধ হয় এবং [illegible] পরস্পর

Fig 60—আয়তাকার [illegible]

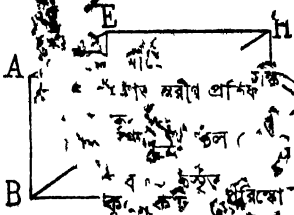
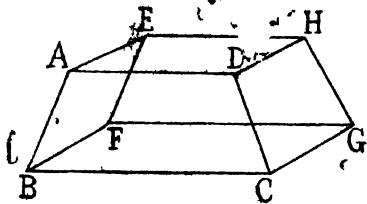



Fig 61—প্রিজ্‌ম

সমান্তরাল হয় তাহা হইলে ঐরূপ কর্তিত অংশকে আয়তাকার ঘন সামান্তরিক বলে। যেমন ABCDEFGH একটি আয়তাকার ঘন সামান্তরিক (চিত্র 60)। কিন্তু তৎপরিবর্তে যদি ইহার যে-কোনও দুইটি তল যেমন ABFE ও DCGH সমান্তরাল না হইয়া পরস্পরের সহিত আনতভাবে অবস্থিত থাকে তাহা হইলে ইহাকে প্রিজ্‌ম বলে (চিত্র 61)।

সাধারণতঃ আমরা যে সকল প্রিজ্‌ম দেখিতে পাই এবং পরীক্ষাগারে যাহা দ্বারা আমরা কাজ করি সে সকলই কাচ-প্রিজ্‌ম। এই প্রিজ্‌মগুলির আনত তলদ্বয় একটি কোণে মিলিত হইয়া দুইটি বিপরীত তলকে ত্রিভুজাকৃতি দান করে। যে কোণে এবং যে রেখায় প্রিজ্‌মের তলদ্বয় মিলিত হয় তাহাদিগকে যথাক্রমে

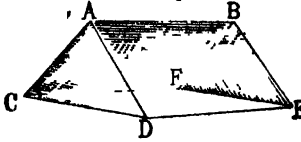



Fig 62—প্রিজ্‌ম

...ngle) ও প্রতিসারক প্রান্তরেখা (refracting ... এ AB প্রতিসারক প্রান্তরেখা এবং ∠CAD প্রতিস... র উপর প্রিজ্‌মের যে-কোনও লম্বচ্ছেদকে প্রিজ্‌মের প্রধান... n) বলে। CDEF তলটি প্রিজ্‌মের ভূমি (base)... D তলদ্বয় প্রিজ্‌মের প্রতিসারক তল (refracting surface...

48. প্রিজ্‌... র ভিতর দিয়া আলোকরশ্মির প্রতি...

পরীক্ষা : একটি অঙ্কনবোর্ডের উপর ... উহার মধ্যস্থলে একটি প্রিজ্‌ম বসাও। প্রিজ্‌মটি ... প্রতিসারক তলদ্বয় কাগজের উপর উল্লম্বভাবে থাকে। ... পেন্সিল দিয়া কাগজের উপর প্রিজ্‌মের কাগজ-সংলগ্ন ... । চিত্রে (63নং চিত্র), ABC প্রিজ্‌মের কা... প্রিজ্‌মের AB তল ঘেঁষিয়া Q বিন্দুতে একটি আলপিন কাগজের উপর লম্বভাবে পুঁতিয়া দাও। উহা হইতে কিছুদূরে P বিন্দুতে আর একটি পিন বসাও। এবার AC তলের দিক হইতে তাকাইলে P এবং Q পিনদ্বয়ের প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। একটি চোখ এমন অবস্থানে রাখ যেন প্রতিবিম্ব দুইটিকে একই রেখায় দেখা যায় এবং S, T দুইটি পিন কাগজের উপর ঐ রেখার উপর বসাও। অর্থাৎ AC তলের

চতুর্থ অধ্যায়

লেন্সের কার্য

49. লেন্স তোমরা সকলেই দেখিয়াছ এবং ইহার ব্যবহারও তোমরা কিছু কিছু জান। ম্যাগনিফাইং গ্লাস, চশমার কাচ, বাইনোকুলার, দূরবীক্ষণ ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কাচ—এই সবই লেন্স। প্রিজম ও আয়তাকার ঘনসামান্তরিক কাচের তলগুলি সমতল কিন্তু যে-কোনও একটি লেন্স লইয়া পরীক্ষা করিয়া দেখিবে যে উহার তলগুলি সমতল নহে।

দুইটি [illegible] নও স্বচ্ছ পদার্থের অংশমাত্রকেই **লেন্স** বলা যায়। যেহেতু দুইটি [illegible] নও অংশ সীমাবদ্ধ হইতে পারে না, এই দুইটি [illegible] হইবে এবং অপরটি বক্র হইতে পারে সমতলও [illegible] র প্রকৃতি অনুসারে লেন্সের বিভিন্ন নাম হয়। লেন্স [illegible] উত্তল বা অভিসারী (convex বা converging)

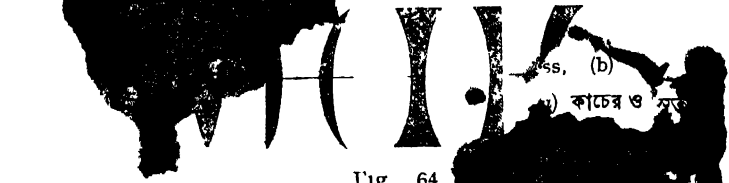



Fig 64

উত্তল বা অভিসারী লেন্স অবতল [illegible]

লেন্স এবং অবতল বা অপসারী (concave বা di[illegible] ং চিত্রে ছয়টি লেন্সের চিত্র দেওয়া হইয়াছে। ইহা [illegible] ও শেষের তিনটি অবতল লেন্স। উত্তল লেন্সগুলি ম [illegible] শঃ পাতলা আর অবতল লেন্সগুলি মাঝখানে অপেক্ষাকৃত পাতলা, ধারে [illegible] ক্রমশঃ পুরু।

50. লেন্সের পরীক্ষাঃ নীচের পরীক্ষাটি হইতে এই দুই প্রকার লেন্সের নামের (অভিসারী ও অপসারী) সার্থকতা এবং কার্য বুঝিতে পারিবে।

(ক্লাসঘরটি সামান্য অন্ধকার করিয়া লইয়া অতিসুন্দর ভাবে এই পরীক্ষাটি দেখাইতে পারা যায়। দরজা বা জানালার ভিতর দিয়া যদি সূর্যের রশ্মি ক্লাসে

প্রবেশ করে অথবা দর্পণের সাহায্যে প্রতিফলিত করিয়া [illegible]াসের ভিতর আনা যায় তাহা হইলে সূর্যরশ্মির সাহায্যেই এই পরীক্ষাটি করা যাইতে পারে। নতুবা সমান্তরাল রশ্মির উৎস হিসাবে টর্চ বা [illegible] গাড়ির হেডলাইটও ব্যবহার করা যাইতে পারে।)

এই পরীক্ষার জন্য একটি পিচবোর্ডের টুকরা, [illegible] স্ট্যাণ্ড ও সাদা কাগজের একটি পর্দা দরকার হইবে। এতদ্‌ব্যতীত সমান্তরাল আলোকরশ্মির [illegible] উৎসের প্রয়োজন হইবে।

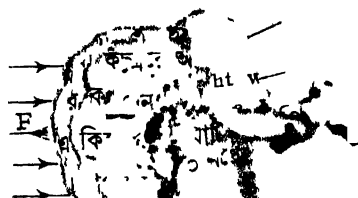
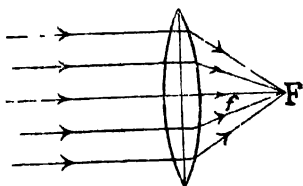
পিচবোর্ডের টুকরার মধ্যস্থলে 0·5 সেন্টিমিটার দূরে দূরে 2·5 সে. মি. লম্বা, 1 মিলিমিটার সরু আয়তাকার চার-পাঁচটি সমান্তরাল ছিদ্র কর। একটি স্ট্যাণ্ড ও

Fig. 65—উত্তল লেন্সে [illegible]

ক্ল্যা[illegible] আলোকরশ্মির পথে পিচবোর্ডটি খা[illegible]বে রাখ যেন [illegible] বাঁকিয়া [illegible]লের সহিত সমান্তরালভাবে অর্থাৎ অনু[illegible]ভাবে থাকে (আ[illegible]াল)। আর একটি ক্ল্যাম্প অথ[illegible] লেন্স-স্ট্যাণ্ডের সাহা[illegible] একটি উত্তল লেন্স খাড়াভাবে বসাও যেন ছিদ্র হইতে ব[illegible]ন্সের ভিতর দিয়া লম্বভাবে যাইতে পারে (65নং চিত্র দেখ [illegible] নাই)। রশ্মিগুলির পথ দেখিবার জন্য লেন্সের ঠিক [illegible]জ উল্লম্বভাবে বসাইবার ব্যবস্থা কর যেন রশ্মিগুলি এই [illegible] তল ঘেঁষিয়া যায় (যেমন হার্টলের চাকতিতে দেখা যায়)। সাদা কাগজটির মধ্যস্থলে একটু স্থান লম্বালম্বি চিরিয়া লেন্সের অর্ধেক উহার মধ্যে ঢুকাইয়া দেওয়া যাইতে পারে। ঠিকমত বসান হইলে সাদা কাগজের উপরে রশ্মিপথ দৃশ্যমান হইবে (চিত্রে কালো পর্দার উপরে রশ্মিপথ দেখান হইয়াছে)। দেখা যাইবে, ছিদ্রের ভিতর দিয়া নির্গত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উত্তল লেন্স অতিক্রম

লেন্সদ্বয়ের পুরুত্ব অত্যন্ত কম বলিয়া ধরা হইয়াছে (thin lens)। এজন্য লেন্সের তলদ্বয়কে প্রধান অক্ষ যে দুইটি বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে সেই বিন্দুদ্বয় এবং O বিন্দুকে প্রায় সমাপতিত মনে করা যাইতে পা[illegible]

50নং অনুচ্ছেদের পরীক্ষায় আমরা দেখিয়া[illegible] প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে কোনও রশ্মিগুচ্ছ যদি একটি লেন্সের উপর আপতিত হয় তাহা হইলে প্রতিসৃত হইয়া বাহির হইবার [illegible] উহা অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পা[illegible]য়। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে তাহারা অভিসারী হইয়া প্রধান অক্ষের উপর একবিন্দুতে মিলিত হয় এবং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে তাহারা প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত

Fig 70—লেন্সের ফোকাস [illegible]

কোনও বিন্দু হইতে [illegible]সৃত হইতেছে বলিয়া প্রত[illegible]বে রাই ঐ বিন্দু[illegible] প্রধান ফোকাস (principal focus[illegible] ভাবে থাং চিত্রে F বি[illegible]কাস। উত্তল লেন্সের ফোকাস সৎ [illegible]al) আর অবত[illegible] virtual)। প্রত্যেক লেন্সের দুইদিকে দুইটি প্রধান [illegible] মধ্যবিন্দু হইতে প্রধান ফোকাসের দূরত্বকে ফোকাস[illegible]) বলে এবং 'f' অক্ষরদ্বারা এই দূরত্ব প্রকাশ করা হয়।

54. জ্যামি[illegible]র অবস্থান ও বিবর্ধন নির্ণয় (Determ[illegible]on of the position and magnification of image by graphical method)

আমরা দেখিয়াছি—

(1) প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে আপতিত কোনও রশ্মি লেন্সের ভিতর দিয়া যাইবার পর প্রধান ফোকাসের ভিতর দিয়া যায় (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে)

অথবা প্রধান ফোকাস হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে)।

(2) লেন্সের মধ্যবিন্দুগামী রশ্মির কোনও দিক্-পরিবর্তন হয় না।

এই দুইটি তথ্যের সাহায্যে আমরা জ্যামিতিক উপায়ে সরু লেন্সদ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও বিবর্ধন নির্ণয় করিতে পারি।

5. উত্তল লেন্স

মনে কর, AB কাগজের সমতলে একটি উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ। PQ উহার অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান একটি বস্তু (চিত্র 71)।

আম[illegible] বিন্দুর সমষ্টি বলিয়া মনে করিতে পারি। প্রতিবিন্দু [illegible]র্গত হইতেছে। প্রান্তবিন্দু P হইতে প্রধান অক্ষের [illegible] রশ্মি [illegible] বি[illegible] টা[illegible] হইবা[illegible] প্রধান [illegible] ভিতর দিয়া যা[illegible] এবং PO রশ্মি দিক্-পরিবর্তন না করিয়া সোজা PO পথে চলিবে। MF সরল[illegible] এবং PO রেখা বর্ধিত কর। এই রেখাদ্বয় p বিন্দু[illegible] [illegible]ই P বিন্দুর একটি সদ্বিম্ব। p হইতে প্রধান [illegible] pq লম্বই সমগ্র PQ বস্তুটির সদ্বিম্বের অবস্থান ও আকৃতি নির্দেশ করে।

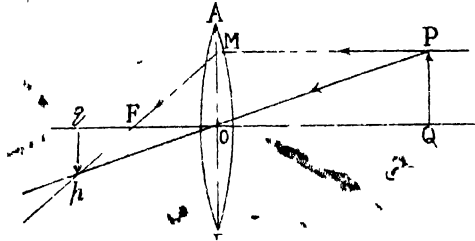



Fig. 71

লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব OQকে **বস্তু-দূরত্ব** (object distance) বলে এবং সাধারণতঃ 'u' অক্ষরদ্বারা প্রকাশ করা হয়। প্রতিবিম্বের দূরত্ব Oqকে **প্রতিবিম্ব-দূরত্ব** (image distance) বলে এবং সাধারণতঃ 'v' অক্ষরদ্বারা এই দূরত্ব প্রকাশ করা হয়।

কিন্তু OQ = বস্তু-দূরত্ব = $+u$

Oq = প্রতিবিম্ব-দূরত্ব = $+v$

OF = ফোকাস-দূরত্ব = $+f$

$$\therefore \frac{v}{u} = \frac{f-v}{f}$$

বা $vf = uf - uv$

বা $uf - vf = uv$

uvf দ্বারা ভাগ করিয়া পাওয়া যায়,

(7)

৬০. [illegible]ত্রের প্রয়োগ

[illegible] আমরা দেখিতে পাই, উত্তল লেন্স এবং অবতল [illegible] বা সমীকরণ দ্বারা u, v এবং f-এর সম্বন্ধ প্রকাশিত [illegible] প্রয়োগ করিবার সময় পূর্বে চিহ্ন সম্বন্ধে [illegible] নিয়মের কথা [illegible] হইয়াছে সেই অনুযায়ী u, v এবং [illegible] ব। যেমন উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে যখন সদ্‌বিম্ব গঠিত [illegible] কিন্তু v ও f নেগেটিভ (−) অতএব উপরোক্ত সমী[illegible]

$$-\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \text{ বা } [illegible]$$

61. বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের গঠন[illegible]

উত্তল লেন্স লইয়া পরীক্ষায় আমরা দেখিয়াছি—

(1) লেন্সটি যদি বস্তুর খুব কাছে থাকে তাহা হইলে লেন্সের ভিতর দিয়া বস্তুটির বর্ধিত, সোজা, অসদ্‌বিম্ব দেখা যায়।

(2) লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করিলে বিপরীত দিকে একটি বর্ধিত উল্টা সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়।

(3) বস্তুর দূরত্ব খুব বেশী হইলে লেন্সের ... বস্তুর বিপরীত দিকে ক্ষুদ্রতর উল্টা সদ্‌বিম্ব গঠিত হয় (67নং চিত্র)।

অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে সকল অবস্থানেই বস্তুর ক্ষুদ্রতর অসদ্‌বিম্ব গঠিত হয়।

জ্যামিতিক অঙ্কনের সাহায্যেও আমরা লেন্সদ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব ... উপরোক্ত সিদ্ধান্তে আসিতে পারি। 73 এবং 74নং চিত্রে প্রদর্শিত জ্যামিতিক অঙ্কনগুলি ভাল করিয়া দেখ এবং 54 অনুচ্ছেদে উল্লিখিত তথ্য ও 55 অনুচ্ছেদে বর্ণিত প্রণালীর সাহায্যে নিজেরা অঙ্কনদ্বারা নিম্নলিখিত ... সত্যতা পরীক্ষা কর :

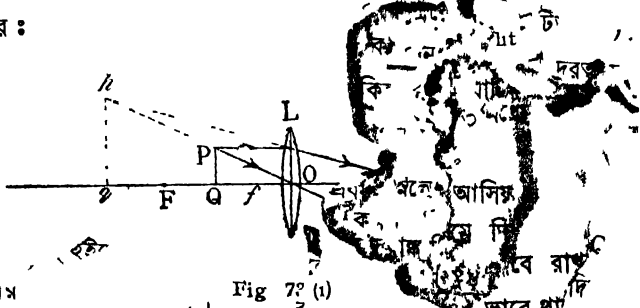



Fig 73 (i)

... দূরত্ব ফোকাস-দূরত্ব 'f' অপেক্ষা ... হইলে বস্তুর পশ্চাতে ... গঠিত হয় (চিত্র নং 73 (i))।

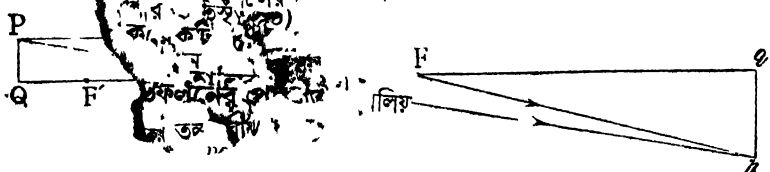



Fig 73 (ii)

(2) উত্তল লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব 'f' এবং '2f'-এর মধ্যে হইলে বস্তুর বিপরীত দিকে অধিকতর দূরত্বে বর্ধিত উল্টা সদ্‌বিম্ব গঠিত হয় (চিত্র নং 73 (ii))।

(3) উত্তল লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব '2f'-এর বেশী হইলে বস্তুর বিপরীত দিকে

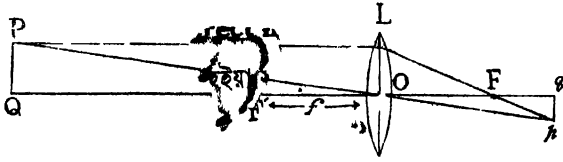



Fig 73 (iii)

f এবং '2f' দূরত্বের মধ্যে বস্তুটির একটি উল্টা ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব (সদ্বিম্ব) গঠিত হয় (চিত্র নং 73 (iii)) ।

(4) ব দূরে অবস্থিত হইলে বস্তুর যে কোন বিন্দু হইতে

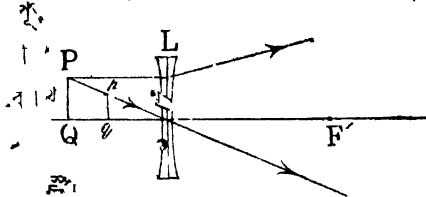



Fig 74 (i)

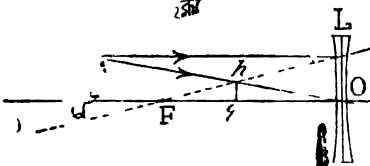



Fig 74 (ii)

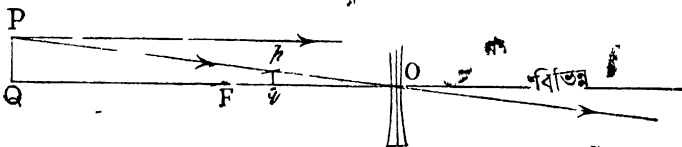



Fig 74 (iii)

আগত রশ্মিগুলি লেন্সের উপর সমান্তরালভাবে আপতিত হয় । সুতরাং বিপরীত দিকে ফোকাসে উল্টা অত্যন্ত ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠিত হয় । বস্তুর দূরত্ব f এবং '2f'

63. উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়ঃ

(1) সহজ পদ্ধতি (Direct method)

পরীক্ষাঃ যে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 'f' নির্ণয় করিতে হইবে সেটিকে সূর্যরশ্মির সম্মুখে ধর। লেন্সের বিপরীত দিকে দেওয়ালের উপর বা মেজেতে যেখানে সূর্যরশ্মি কেন্দ্রীভূত হইয়া পড়িবে অর্থাৎ সূর্যের একটি উজ্জ্বল ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে সেখান হইতে লেন্সের দূরত্ব একটি স্কেলের সাহায্যে মাপ। ঐ দূরত্বই লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 'f'।

সূর্যরশ্মির সম্মুখে লেন্সটি ধরা সম্ভব না হইলে লেন্সটির সাহায্যে কোনও দূরবর্তী ... একটি উল্টা ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব দেওয়ালের উপর ... বরাবর দেওয়ালের সমান্তরালভাবে লেন্সটি ...। থাকিলেই এক সময় দেওয়ালের উপর দূরবর্তী বাড়ী ... ক্ষুদ্র উল্টা প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। লেন্সের যে অব... সুস্পষ্ট বলিয়া মনে হইবে সেই অবস্থান হইতে দেও... সাহায্যে মাপিলেই লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব পাওয়া...

(2) ... পদ্ধতি (u-v method)

সদ্‌বিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব u, প্রতিবি... এর মধ্যে সম্পর্ক $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সূত্রদ্বারা ... সূত্রের সাহায্য লইয়া তোমরা নিম্নলিখিত উপায়ে ...

পরীক্ষাঃ এই পরীক্ষার জন্য তি... মোমবাতির প্রয়োজন। মোমবাতির পরিবর্তে খাড়া বৈদ্যুতিক টেবিল-ল্যাম্প ব্যবহার করা যাইতে পারে।

স্ট্যাণ্ড তিনটিকে টেবিলের উপর কিছু দূরে দূরে এক সরলরেখায় রাখ। মাঝখানের স্ট্যাণ্ডে (A) লেন্সটি বসাও। আর একটি স্ট্যাণ্ডের (B) উপর মোমবাতিটি এমনভাবে বসাও যেন ইহার শিখাটি লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর

অনুশীলনী

1. What is a lens ? Draw diagrams of different kinds of divergent and convergent len

   লেন্স কাহাকে বলে ? চি হইয়া হাষ্যে বিভিন্ন প্রকার অপসারী ও অভিসারী লেন্সের পরিচয় দাও।

2. ...with the help of diagrams w... convex lens is called a convergent lens and a concave lens is called a divergent lens.

   উত্তল লেন্সকে অভিসারী ও অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স কেন বলা হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

3. De... experiment to demonstrate the converging ...ns and the diverging action of a concave ...

   ...র। অবতল লেন্সের অপসারী ধর্ম প্রদর্শনের জন্য একটি উপযুক্ত

4. ...cipal focus and focal length in connection ...ribe a method of determining the focal ...

   ...ফোকাস-দূরত্ব কাহাকে বলে ? উত্তল লেন্সের ফোক...দ...য়ের ...র্ণনা কর।

5. Draw diagrams to show under w... lens forms (a) a magnified virtual ... real image and (c) a magnified real ...

   চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও উত্তল লেন্স কি... অসদ্‌বিম্ব, (খ) ক্ষুদ্রতর সদ্‌বিম্ব ও (গ) বর্ধিত সদ্...

6. What kinds of images are fo...

   অবতল লেন্সদ্বারা কিরূপ প্রতিবিম্ব গঠিত হয় ? ... বিভিন্ন ...

7. You are given a convex lens and a concave lens. How will you distinguish one from the other without touching the curved surface of any of the two ?

   তোমাকে একটি উত্তল লেন্স ও একটি অবতল লেন্স দেওয়া হইল। লেন্সের পৃষ্ঠদেশ স্পর্শ না করিয়া কিভাবে বলিবে কোন্‌টি কি লেন্স ?

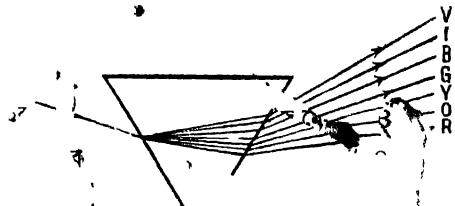
পঞ্চম অধ্যায়

বর্ণ, বর্ণালী ও আলোর বিচ্ছুরণ

(Colour, spectrum and dispersion)

64. নিউটনের পরীক্ষা

প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ সম্পর্কে তোমরা কিছু কিছু পরীক্ষা ... সর্বপ্রথম নিউটন প্রিজ্‌মের সাহায্যে একটি পরীক্ষা করিয়া সাদা আলোর (যেমন সূর্যের আলো) গঠন সম্বন্ধে নূতন আলোকপাত করিয়াছিলেন। সেই ঐতিহাসিক পরীক্ষার একটি সংক্ষিপ্ত বর্ণনা নীচে দেওয়া হইল।

দরজা-জানা... বন্ধ করিয়া নিউটন একটি ঘরকে প্রায় অন্ধকার করিলেন। দরজার মধ্যে ... করিয়া দিলেন যাহাতে সূর্যরশ্মি সেই ফুটার ভিতর দি... লে পড়িতে পারে। দেখা গেল সূর্যের এক ... পড়িয়াছে—যেমন সূচীছিদ্র ক্যামেরায় পড়ে।

সেই ... সূর্যর... একটি ... রাখিলেন ... উপরদিকে ... ধার (refrac... edge) মেজের সমান্তরালভাবে ... নীচের দিকে রহিল (Fig. 76 দেখ)। ... রণের নিয়ম অনুসারে আলোকরশ্মির পথ উপর ... র দিকে বাঁকিয়া গেল এবং পূর্বে দেওয়ালের যে ... স্থল তাহার অনেক উপরে প্রতিবিম্ব দেখা গেল। কিন্তু নিউটন ... প্রতিবিম্বের পরিবর্তে পর পর সংলগ্ন কতকগুলি নানাবর্ণের প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইলেন। এই বর্ণসমবায়ের তিনি নাম দিলেন **বর্ণালী** (spectrum)। তিনি ... করিলেন সূর্যের সাদা আলো একটি মাত্র রঙের আলো নহে—ইহা বর্ণালীর বিভিন্ন রঙের আলোর সংমিশ্রণ। সূর্যরশ্মি প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে ইহার অন্তর্গত

V I B G Y O R

Fig. 1

বিভিন্ন রঙের আলোগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়িয়াছে। বর্ণালীর মধ্যে তিনি সাতটি বিভিন্ন রঙের সন্ধান পাইলেন ; যথাক্রমে ইহাদের নাম—বেগুনী (violet), নীল (indigo), আসমানী (blue), সবুজ (green), হল্‌দে (yellow), নারঙ্গ (orange) ও লাল (red)। ইংরাজী শ[illegible]প্রথম অক্ষরগুলি লইয়া সংক্ষেপে বর্ণালীর বর্ণগুলির নাম বলা হয় VIBGYOR।

নিউটন পরে আরও বহু পরীক্ষাদ্বারা বর্ণালী সম্বন্ধে তাঁহার সিদ্ধান্তকে সুপ্রতিষ্ঠিত করিয়াছেন।

65. পরীক্ষাগারে বর্ণালী গঠন

নিউটনের পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি আমরা সহজেই করিতে পারি। এইভাবে যে বর্ণালী পাওয়া যায় তাহা অশুদ্ধ (impure) অর্থাৎ ই[illegible]ভিন্ন বর্ণসমূহ সম্পূর্ণরূপে পৃথক হয় না—এক বর্ণ তাহার স[illegible] পরিমাণে সমাপতিত (overlapped) হয়। নিউটনের [illegible] আমরা পরীক্ষাগারে অপেক্ষাকৃত বিশুদ্ধ বর্ণা[illegible] ক্ষুদ্র ও পরীক্ষার বর্ণনা দেওয়া হইল।

পরীক্ষা (1) : S একটি সরু উল্লম্ব আয়ত[illegible] আসিয়া [illegible]র, উল্টা [illegible] একটি উত্তল লেন্স। S হইতে L-এর দূরত্ব L[illegible] রশ্মী। P [illegible] সমবাহু প্রিজ্‌ম (equilateral pris[illegible] ধার S [illegible] প্রান্তরাল এবং ইহা আলোকরশ্মির পথে ন্[illegible] minimum deviation [illegible]। Q একটি সাদা পর্দা (Fig. 77)।

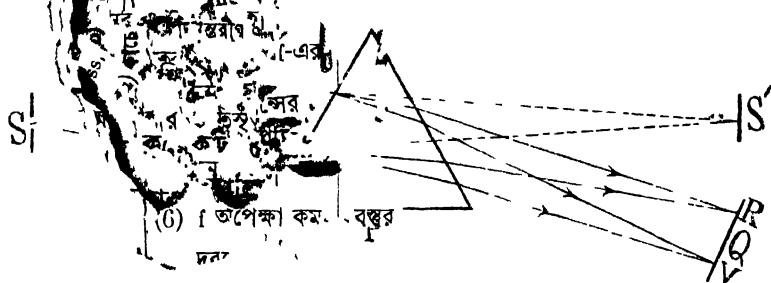



Fig. 77—বর্ণালী গঠন

সূর্যের [illegible] অথবা কোনও বৈদ্যুতিক বাল্‌ব হইতে উজ্জ্বল বৈদ্যুতিক আলো S ছিদ্রের উপর পড়িলে লেন্স L দ্বারা S ছিদ্রের একটি সদৃবিম্ব গঠিত হয় এবং

P প্রিজ্‌ম না থাকি... পর্দার উপর S' বিন্দুতে ঐ প্রতিবিম্ব দেখা যায়। আলোক-রশ্মির পথে প্রিজ্‌মটি উল্লিখিতভাবে বসাইলে S ছিদ্র হইতে অপসারী আলোক-রশ্মিগুচ্ছ লেন্স L অতিক্রম করিবার পর অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইয়া প্রিজ্‌মের একটি প্রতিসারক ... পতিত হয়। প্রিজ্‌মদ্বারা প্রতিসৃত হইবার ফলে আলোকরশ্মি নানাবর্ণে বি... হইয়া Q পর্দার উপর পড়ে। ইহাতে S ছিদ্রের বিভিন্ন রঙের প্রতিবিম্ব পর্দার উপর দেখা যায় (চিত্রে কেবলমাত্র লাল (R) এবং ...গুনী (V) বর্ণের প্রতিবিম্বের অবস্থান দেখান হইয়াছে)। এই বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্বের নামই **বর্ণালী** (spectrum)। আলোকরশ্মির এইরূপ বিভিন্ন বর্ণের বিশ্লেষিত হইবার নাম বিচ্ছুরণ (dispersion)

প... উল্লিখিত ব্যবস্থায় যে বর্ণালী পাওয়া যায় তাহা পূর্ণ বিশুদ্ধ নহে। ঐ ব্যবস্থার সামান্য সংশোধন ...ী পাওয়া যাইতে পারে। চিত্র নং 78 হইতে ...র।

... দূরত্ব L_1এর ফোকাস-দূরত্বের সমান। সুতরাং S ... L_1এর উপর আ... হয় তাহারা L_1 হইতে ... রূপে নি...র্গত হইয়া P প্রিজ্‌মের ... B ...সারক তলে ... য়। প্রিজ্‌মের ভিতরে ...তিসরণ ... ...লোক লাল (R ... হইতে আরম্ভ করিয়া বেগুনী (V) পর্যন্ত বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হইয়া AC প্রতিসারক তল হইতে সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হয়। ঐ বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিসমূহ L_2 লেন্সের ভিতর ... র L_2 লেন্সের ফোকাস-দূরত্বে অবস্থিত Q পর্দার উপর S ছিদ্রের বিভিন্ন রঙের প্রতিবিম্ব গঠন করে। (চিত্রে কেবলমাত্র দুই প্রান্তীয় প্রতিবিম্ব ... (R) এবং বেগুনী (V)এর অবস্থান দেখান হইয়াছে)। ইহাকে মোটামুটি ...শুদ্ধ বর্ণালী বলা যাইতে পারে।

S L R Q V

গঠন

নির্মিত একটি প্রায় একফুট ব্যাস বিশিষ্ট বৃত্তাকার চাকতি। চাকতিটি তিন বা চারি সমান অংশে (sector) বিভক্ত করা হয়। সৌর বর্ণালীতে সাতটি বর্ণ যে অনুপাতে স্থান দখল করে সেই অনুপাতে চাকতিটির প্রত্যেক অংশ আবার ... পর্যায়ক্রমে সাতবর্ণে রং করা হয়। কেন্দ্রগামী একটি দণ্ডকে অক্ষ ... ঘুরি... মনে...

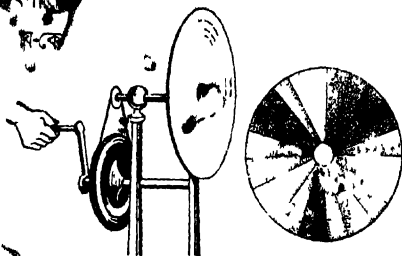



Fig 81—নিউটনের বর্ণচক্র

...le) সাহায্যে চাকতিটি দ্রুত ঘুরাইলে সাতটি ... পারা ... না—সমগ্র চক্রটিকে সাদাটে ... পর্দা... অনুভূ... সকল ব...

... বিভিন্ন বর্ণগুলি মিশিয়া যায় না। চোখের ... হল ... রবর্তী ... ছবি পর পর ... পড়ে যে একটির ... অনুভূতি ... বর্ণের ছবি আসিয়া পড়ে ... জন্মায়।

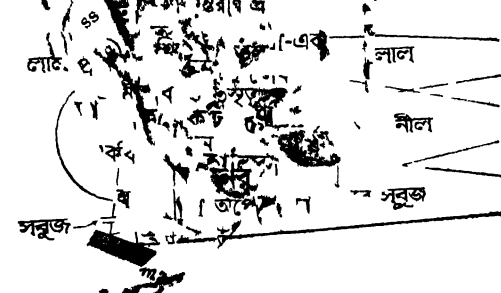
70. রাম... (Rainbow)

আমরা সৌর বর্ণালীতে যে সাত... ব... সেই সাতটি বর্ণই দেখিতে পাই। প্রকৃতপক্ষে রা... বর্ণালী। সূর্যরশ্মি প্রিজ্‌মের পরিবর্তে আকাশে বৃষ্টি... বিচ্ছুরিত ও প্রতিফলিত হইয়া রামধনুর সৃষ্টি ... সম... বৃষ্টির পরে সূর্যের দিকে পশ্চাৎ ফিরিয়া অর্থাৎ সূর্যের বিপরী... রামধনু দেখা যায়। বৃষ্টির পরে রামধনু দেখা যায় কারণ সেই সময়ে আকাশে উপযুক্ত মাপের জলকণার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। সূর্যকে পিছনে রাখিয়া রামধনু দেখা ... এই কারণে যে সূর্যরশ্মি দূরবর্তী জলকণাগুলি দ্বারা প্রথমে বিচ্ছুরিত ও পরে প্রা... ... হইয়া সূর্যের দিকে ফিরিয়া আসে। সেই প্রত্যাবৃত্ত রশ্মি চোখে পড়িয়া রামধনুর অনুভূতি জন্মায়। রামধনুতে লাল বর্ণ থাকে সকলের উপরে। তারপর পর পর থাকে নারঙ্গ, হলুদে, সবুজ, আসমানী, নীল ও বেগুনী।

71 প্রাথমিক বর্ণ ও পরিপূরক বর্ণ (Prim. ry and complementary colours)

আমরা দেখিয়াছি বর্ণালীর সাত বর্ণের বি... মিশ্রণে সাদা আলোর উৎপত্তি হয়। বর্ণালীর যে-কোন দুই বা ততোধিক ...বি আলোর মিশ্রণে কত রকমের আলো হইতে পারে সে সম্বন্ধে নিউটন এবং তাঁহার পরে আরও অনেকে বহু পরীক্ষা করিয়াছেন। দে... গিয়াছে লাল, সবুজ এবং নীল আলোক... সাদা আলোর উৎপত্তি হয় এবং এই তিনটি মাত্র বর্ণের সাহায্যে বর্ণালীর প্রায় সমস্ত বর্ণ... পাওয়া যাইতে পারে। এজন্য নিউটন লাল, সবুজ এবং নীল বর্ণকে **প্রাথমিক বর্ণ** বলিয়া অভিহিত করিয়াছেন। এই প্রাথ... বর্ণগুলির যে-কোনও একটির সহিত অন্য যে বর্ণ মিলিত হ... ...হাকে প্রথমোক্ত বর্ণের পরিপূরক (comp e entary ...

নিম্নবর্ণিত ব্যবস্থার অনুরূপ একটি ব্যবস্থা ... গাবে বিভিন্ন বর্ণের আলোর সমাবেশ সম্বন্ধে নানারূ...

পরীক্ষা : এই পরীক্ষার জন্য একটি বৈদ্যুতিক ... আসিয়... ...ঙের ফিল্টার (ফটোগ্রাফির সাজ-সরঞ্জামের দোকানে ... ...র, উ... ...টার কিনি... পাওয়া যায়), কয়েকটি ছোট দর্পণ ... কা দিয়া ... ...ান যায় ... আলোর বাল্বটিকে সম্পূর্ণ ঢ... বার্লির কৌটা বা ঐ ... কৌটাদ্বারা কাজ হইতে পারে। ঐ টিনের দৈর্ঘ্য বরাবর মাঝামাঝি সমান উচ্চতায় তিনদিকে তিনটি আয়তকার সরু ছিদ্র (1″ × ¼″) কর। স্ট্যাণ্ডের উপর বাল্বটিকে এই ঢাকনা দিয়া ঢাকিয়া আলো জ্বালিয়া দাও। ঢাকনার তিনটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া তিনদিকে আলোকরশ্মি নির্গত হইবে। চিত্রে প্রদর্শিত ভাবে (82নং চিত্র দেখ) ছিদ্র তিনটির সম্মুখে লাল, সবুজ ও নীল রঙের ফিল্টার বসাইয়া দাও। দুইটি

82— বিভিন্ন বর্ণের আলোর সমাপতন

কোনও পদার্থের নিজস্ব বর্ণ বলিয়া কিছু নাই। যে বর্ণের আলো ... উপর আপতিত হয় তাহার উপর পদার্থের বর্ণ নির্ভর করে।

যে অনচ্ছ পদার্থ সকল ... প্রতিফলিত করিতে পারে তাহার বর্ণ আপতিত আলোকরশ্মির যে ... তাহাই হইবে। অর্থাৎ সাদা আলোতে সেই পদার্থকে সাদা দেখায়, লাল আলোতে লাল দেখায়, সবুজ আলোতে সবুজ দেখায় ইত্যাদি। উপরের পরীক্ষায় এজন্যই ঘরের দেওয়ালের ... রং বিভিন্ন বর্ণের আলোতে বিভিন্ন রকম দেখিয়াছি।

কোনও কোনও পদার্থ কেবলমাত্র বিশেষ বর্ণের আলো প্রতিফলিত করিতে পারে। অন্য সকল বর্ণের আলো ইহাদের উপর আপতিত হইলে শোষিত হয়। লাল ... দেখায় কারণ সাদা আলোর কেবল লাল অংশ ... অবশিষ্ট বর্ণসমূহ শোষিত হয়। তেমনি গাছের ... উপর আপতিত সাদা আলোর কেবল সবুজ অংশ প্রতি... শোষিত হয়।

... আলোতে কালো দেখায় কারণ সবুজ পাতা বা নীল ... লয়, কিছুই প্রতিফলিত করে না। একই কারণে ... তে লাল ফুলকে কালো দেখায়।

কালো ...ও বর্ণ নহে; সকল বর্ণের অভাবই ... অনুভূতি প্রদান করে। যে ... অনচ্ছ পদার্থকে স... সকল বর্ণের আলোই শোষণ করে—কিছুই প্রতি...

স্বচ্ছ পদার্থের বর্ণ

প্রকৃতপক্ষে আমরা স্বচ্ছ পদার্থ দেখি... ...তর দিয়া দেখি। লাল কাচের ভিতর দিয়া সা... ... কারণ লাল কাচ কেবলমাত্র লাল বর্ণের আলোর পক্ষেই স্বচ্ছ... ...কে লাল কাচ শোষণ করিয়া লয়। সেজন্য সাদা আলোয় যে ফুল বা পা... ... বা সবুজ দেখায় লাল কাচের ভিতর দিয়া তাহাদের কালো দেখাইবে কারণ ... বা সবুজ বর্ণের আলোকে লাল কাচ শোষণ করিয়া লয়। আমরা দেখিয়াছি সাদা ...র বর্ণালীর পথে লাল কাচ ধরিলে পর্দার উপর কেবলমাত্র বর্ণালীর লাল অংশ পড়ে। সবুজ, নীল ইত্যাদি কাচের ক্ষেত্রেও অনুরূপ ঘটনা দেখা যায়।

অনুশীলনী

1. At what conclusion did Newton arrive regarding the nature of the white light of the sun ? What sort of experiments led him to such a conclusion ?

   সূর্যের সাদা আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে নিউটন কি সিদ্ধান্তে আসিয়াছিলেন ? কি প্রকার পরীক্ষার ফলে তিনি ঐ সিদ্ধান্তে আসিয়াছিলেন ?

2. Describe Newton's colour disc. What does it prove ?

   নিউটনের বর্ণচক্র বর্ণনা কর। ইহা দ্বারা কি প্রমাণিত হয় ?

3. What is a spectrum ? Explain what is dispersion of light. How is a rainbow formed ?

   বর্ণালী কি ? আলোকরশ্মির বিচ্ছুরণ কাহাকে বলে ... রামধনুর উৎপত্তি হয় কি প্রকারে ?

4. What are pure and impure spectra ? ... a pure spectrum of white light.

   অশুদ্ধ ও বিশুদ্ধ বর্ণালী কাহাকে বলে ? ... বর্ণনা কর।

5. The colours of the solar spectrum ... of the sun and are not manufactured ... you ...ve this statement ?

   ...লীর বর্ণসমূহ সূর্যের সাদা আলোর মধ্যেই ... দেখাইবে ... দ্বারা ... প্রমাণ করিবে ?

6. ... the colour of an opaque object ? What ... (a) a red flower, (b) a green saree in ...

   ... মার ধারণা কি ? লাল আলোর মধ্যে একটি (ক) লাল ফুল ... দেখাইবে ? কেন ?

7. Describe ... colour of transparent substances.

   স্বচ্ছ পদার্থের ... ধারণা বর্ণনা কর।

8. Explain, with examples, the meaning of primary and complementary colours.

   প্রাথমিক ও পরিপূরক বর্ণ কাহাকে বলে ? দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

SOME IMPORTANT QUESTIONS

General Physics

1. Distinguish between mass and weight of a body.

2. Describe and explain the action of a spring-balance.

"In a common balance we compare masses of two bodies while from a spring-balance we can get the true weight of a body." Explain

[illegible] ve experimentally that a liquid exerts

[illegible] n for the pressure at a point inside a liqu[illegible]

[illegible] er is 1·05. Find the pressure at the d[illegible] the surface in pound per square foot, given t[illegible] foot of water weighs 62 5 lbs

[Ans [illegible] t.]

6. Explain what you mea[illegible] static paradox'.

Describe suitable experiments t[illegible] aradox

7. State and explain Pascal's [illegible] pressure within fluids. Show that large forces c[illegible] the use of a liquid under pressure

8. Describe the principle and action of a hydraulic press, giving a sectional diagram.

9 A force of 50 kgms. is applied to the smaller piston of a hydraulic machine. Neglecting friction, find the force exerted

on the larger piston, the diamet[illegible] of the pistons being 2 and 10 cms. respectively.

10. State and explain Arc[illegible] principle. How would you demonstrate its truth ?

11. State and explain the conditions of equilibrium of a body floating freely in a liquid.

12. A substance measuring 36 c.c. floats with three-quarters of its volume under water. Find the weight and the density of the body. [*Ans.* 27 gms. ·75 gm/c.c.]

13. What is meant by 'buoyancy' [illegible] ship floats in water.

14. Describe the 'Cartesian Diver' [illegible] Do you know of any modern appli[illegible] this principle ?

15. Disting[illegible] between densit[illegible] of [illegible] you [illegible] this. How would you find the specific [illegible]. How would you find the sp. gr. of a [illegible] water than wat[illegible]

1[illegible] the c[illegible]son [illegible] Hydrometer and explain how you w[illegible] of a liquid with its help.

19. [illegible] the sp. gr. of a liquid like kerosene [illegible] bottle.

20. [illegible]cate the use of a Hare's Apparatus.

21. Describe an experiment to prove that air exerts pressure. How is the pressure measured ?

22. Prove that the pressure of air can be measured by means of a long tube containing mercury and inverted over mercury in a trough.